



TITLE:

高電圧工学に於けるコロナ放電と  
衝撃電圧に関する実験的研究(  
Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

上西, 亮二

---

CITATION:

上西, 亮二. 高電圧工学に於けるコロナ放電と衝撃電圧に関する実験的研究. 京都大学, 1950, 工学博士

ISSUE DATE:

1950-07-05

URL:

<https://doi.org/10.14989/161909>

RIGHT:

主  
論  
文

高電壓工學に於ける  
コロナ放電と衝擊電壓に關する實驗的研究

上 西 亮 二

高電壓工學に於ける  
工口十放電と衝撃電壓に関する實驗的研究

上 西 亮 二

DOC

1950

2

電気系

EXPERIMENTAL RESEARCHES  
ON  
CORONA DISCHARGE & IMPULSE VOLTAGE  
IN  
HIGH TENSION ENGINEERING

BY

RYOJI UENISHI

.....

SYNOPSIS

This literature is the collection of the experimental researches regarding "corona discharge" and "impulse voltage", out of the fruits the author obtained in the course of making researches in the High Tension Engineering, and consists of the Three Parts under the title of "The Experimental Researches On Corona Discharge And Impulse Voltage In High Tension Engineering.

PART I.      Researches on Corona Discharge

Chapter 1.      Introduction.

Chapter 2.      The detailed experimental descriptions are made on the characteristics of corona discharge from the needle points. That is, first, regarding the corona discharge from the needle points which gives the fundamental basis to the mechanism and characteristics of corona discharge, its critical voltages and characteristics of its voltage-current are studied, by which its experimental formulas are determined.



Second, as to the irregularity of discharge characteristics, conviction is got that the needle point has the availability for the measurement of voltage with less care, since under the ordinal needle electrodes, critical voltage and voltage-current characteristics as well indicate uniform irregularity, being little effected by the minor changes in the shape of electrodes and or careless arrangement of needle points.

Third, the wear of needle points caused by corona discharge is taken up as the object of the experiments, as the result of which it is confirmed that, in case of glow corona, needle point charged in "plus" is worn more than one in "minus," and that in case of flux corona, it is worn less than in case of glow corona, in either case of which its wear is generally little and gives no influence to irregularity under tens microamperes.

Forth, using needle angle as the parameter, elaborate experiments were carefully made in the un-cultivated field on the discharge character, and the influence of needle angle in connection with critical voltage, voltage-current characteristics and the stability of discharging method was examined, in consequence, precious fruits of experiments as well as good understandings of the mechanism of discharge have been obtained.

Chapter 3. Here is described the results of experiments made on "corona wind volt meter" manufactured in

trial in which the ionic wind arisen by corona discharge is applied as the driving torque of the direct indicating meter, and it is confirmed that this method can be practically used for the meters.

## PART II.      Impulse Voltage

This part deals with the researches regarding the impulse voltage, which is the collection of serial experimental researches the author made on the matter.

### Chapter 1.      Introduction.

Chapter 2.      This relates to the detailed investigations on the characteristics of impulse voltage generator the author employed, and thereby gives technical suggestions on the generating method of general impulse voltage.

Chapter 3.      This refers to the result of experiments made by the author on the "high voltage cathode ray oscillograph" employed for the measuring of impulse voltage, and attentions are called up for the design as well as the operation of oscillograph.

Chapter 4.      The author introduces herein his own method for synchronizing impulse voltage generator aforementioned with cathode ray oscillograph used for measuring the voltage generated, and makes clear that the synchronizing operation, which is the most difficult in the process of measuring impulse wave form, can surely be made.

Chapter 5.      The author introduces herein the direct observing outfit of impulse wave testing voltage gener-

ated repeatedly, and states that his own method has the characteristics in the stability and independency of chopped wave generation and control of its time.

Chapter 6. The characteristics of rod gap are examined and investigated, and the required accuracy is made clear for using the gap as the basis in the impulse voltage test of electric machines and instruments.

Chapter 7. Here deals with the investigation on the impulse voltage characteristics of the spark gap for Bendman's arrester, and its effects as the arrester when equipped with small cone on its top.

Chapter 8. Investigations are made on the impulse voltage characteristics of insulator, and here is mostly stated of the one on the pin-type insulator.

Generally speaking, experiments on impulse voltage require the most troublesome procedure as well as the utmost cares. The author, inspite of great hardship, well made out new experimental value and solved the impulse voltage characteristics about various kinds of electric appliances.

PART III. The result of researches concerning to the "impulsive field intensity near earth" arisen with lightening discharge is the substance of this part. That is, regarding the measuring of waves by means of general aerial antenna, divider and oscillograph, the author calculated out the relative formula between original voltage waves or original field intensity and

divided voltage, and further by the measured form thus obtained, the author framed out diagram system calculating method by which original voltage or field intensity near earth is to be calculated out.

In the point of that the wave form is calculated out easily and accurately, this method is said to be quite new.

\_\_\_\_\_ o \_\_\_\_\_

内容梗概	.....	
緒言	.....	(1)
第一編 コロト放電に関する研究	.....	(2)
第一章 緒論	.....	(2)
第二章 斜端コロト放電の特性	.....	(3)
第三章 コロト風電圧計	.....	(41)
第二編 衝撃電圧に関する実験的研究	.....	(43)
第一章 緒論	.....	(43)
第二章 衝撃電圧発生装置	.....	(45)
第三章 衝撃電圧測定用陰極線オシログラフ	.....	(63)
第四章 衝撃電圧発生器と高圧陰極線オシログラフとの同期 操作に就く	.....	(83)
第五章 衝撃電圧特に同軸断波の直視法	.....	(87)
第六章 角棒間隙の衝撃火花内絡特性	.....	(91)
第七章 衝撃電圧に対するベンドマン避雷器用火花間隙 の放電特性	.....	(105)
第八章 碍子の衝撃電圧特性	.....	(115)
第三編 雷放電に伴ふ衝撃性地上電界強度の測定	.....	(131)
結論	.....	(137)
謝辭	.....	



## 内 容 梗 概

本文は著者が高電圧工學の研究中に得た成果中、コロナ放電並に衝撃電壓に関する実験的研究と纏めたものであり、高電圧工學に於けるコロナ放電と衝撃電壓に関する実験的研究と題し全三編より成る。

第一編は、コロナ放電に関する研究であつて、第一章は緒言、第二章には針端コロナ放電の特性に就て詳細な実験的記述がある。即ちコロナ放電の機構並に特性の基礎的根據と與へる針端コロナ放電に関し、その放電開始電壓、電壓電流特性を調べ、之が実験式を與へ、次に放電特性の不整性に関しは、放電開始電壓及び電壓電流特性が普通の針端電極の下では、電極の形状の多少の変動、或は尖端の吟味に影響する、事なく同程度の不整性を現し、従つて針端は左程注意する事無く電壓測定に充分使用し得る確信を得て居る。次にコロナ放電に伴ふ針端の消耗に就て実験を行ひ、暈光コロナでは針端正極なるとき負極なるときより大となり、正束状コロナの場合には暈光コロナの場合より消耗が少い事を確かめて居るが、何れも普通数十マイクロアンペア程度のコロナ電流では、その消耗の程度は小であつて不整性にも影響はない事を知られて居る。次に針端角度とパラーターとを、其放電特性と、よく先人未だの分野に、周到なる注意の下、緻密な実験を行ひ、針端角度の影響と、放電開始電壓、電壓電流特性、放電形式の安定性に関し実験し、貴重な実験結果と、放電機構の究明を得て居る。第三章はコロナ放電に依り生起するイオン風を利用し、之を直接指示電壓計にその駆動力として應用した、コロナ風電壓計の試製結果と記述して居るが、本方式が実用計器として充分使用に耐える事を明かにした。

第二編は、衝撃電壓に関する研究であつて、衝撃電壓試験に関する著者の一連の実験的研究と纏めたものである。第一章は緒言、第二章は、衝撃電壓發

生装置に関し著者の使用せるものに関し其特性を詳細に調査し、一般衝撃電壓発生方法に関する技術的指針と與へたものである。第二章は、衝撃電壓測定用の高壓陰極線オシログラフに関し、筆者の實驗結果と與へ、本オシログラフの設計及び使用上の諸注意を喚起し、第四章は、前記衝撃電壓発生装置と、之の発生電壓を測定する爲の陰極線オシログラフとの同期操作に就て、著者獨特の方法を紹介し、之に依る衝撃波形測定法中の最困難な同期操作と確實に行ひ得る事を明にせし。第五章は、衝撃試験電壓が繰返し発生し得る場合の波形直視装置を紹介し、特に著者の方式の截断波発生並に其時間の制御が安定且自由な特徴と有する事を論述せり。第六章は、角棒間隙に就て、其特性を實驗調査し、今後電機器の衝撃電壓試験に、本間隙基準として用い得る確度と明にせし。第七章は、ベトナム避雷器用火花間隙の衝撃電壓特性に就て調べたもので、尖端に小円錐体と設けた場合、其の避雷器としての効果と明にせり。第八章は、碍子の衝撃電壓特性に就て調べたもので、主としてピン碍子に就て、其特性を明にせし。およそ、衝撃電壓試験は極めて煩瑣な手数と、周到なる注意とを必要とする。著者は多くの困難を排し、よく新しい實驗數値と與へ、且各種機器の衝撃電壓特性を解明し、

第三編は、雷放電に伴ふ、衝撃性地上電界強度の測定に関し研究法結果であつて、一般の空中線と分壓器及びオシログラフに依る波形測定の場合に就て、原電壓波即ち原電界強度と分壓電壓との一般關係式を算出し、更に測定波形より、原電壓即ち地上電界強度の原波形を算出する圖式計算法と算出提案せるものであつて、容易確實にその波形を求め得る點に於て、筆者の方法は新機軸を出せるものなり。

(以　上)

---

高電圧工學に於ける  
コロナ放電と衝撃電壓に関する實驗的研究

上 西 亮 二

---

緒 言

本文は、著者が高電圧工學の研究中に得た成果中、コロナ放電並に衝撃電壓に関する實驗的研究と纏めたものであつて、

第一編は、針端コロナ放電の特性及び特に針端角をParameterとして其特性を調べ更に之が指示計器への應用に就て述べたものであり、

第二編は、京都大學工學研究所設置の衝撃電壓發生裝置に基づいて行つた各種の衝撃電壓試験特性、測定操作方法に就て、

第三編は、雷放電に伴ふ地と電界強度の測定に關して考察を行つたものである。

# 第一編

## コロナ放電に関する研究

### 第一章

#### 緒 論

コロナ放電は、高電圧大氣中放電に於て、最も興味ある現象の一つであり、その究明は、高電圧工學上の諸問題の解決の基礎となすものとして、最も重要視されなければならない。就中針端コロナ放電は、あらゆるコロナ現象中の、代表的且基礎的な現象であり、その特性と実験的に明確にしたのが本編の主目的である。

第二章に述べる様に、針端コロナの電流、或はコロナ放電の各種電壓等の安定性は、本章に依りて隈なく究明せられ、又特に針端角とParameterとして、放電特性と調べた点は、筆者を以て嚆矢とする次第である。宮本氏の指摘に如く、今後不安なく針端の使用が出来、大なる実験上の根據と與へ得たのである。

第三章には針端コロナ放電の工學的應用として、之を電圧計の應用とした結果に論及する。

---

ii) 宮本慶巳：上田氏論文「針端コロナ放電の特性」と讀み。電氣學會雜誌 58, 58 (昭13)

## 針 端 コ ロ ナ 放 電 の 特 性 \*

## 内 容 梗 概

本文は針端コロナ放電の特性を全般に涉つて取扱ふと共に、特に針端角を Parameter として観察した實驗的研究報告である。先づ初め針端コロナ放電の概括的特性に就て述べ、次に其の不整性に關して實驗し、針端放電特性の不整性は電極形狀の多少の變動或は尖端の吟味に大なる影響なき事を論じ、更に放電に依る電極消耗の程度を調べ、普通數十マイクロアンペア程度のコロナ電流にては其の消耗の程度は小であつて不整性に影響せざる事を述べ、次に針端角度がコロナ放電特性に及ぼす影響が如何なる程度なるかを示し其の特異點を指摘した。

## I. 緒 言

茲に取扱はんとする針端コロナ放電は、其の容易に發生せしめ得る點に於て、又放電形式の内容外觀の特異性に於て、各種コロナ放電中最も代表的且つ顯著なるものなる故、其の性質の究明はコロナ放電の物理學的並に工學的研究の基礎事項と考へられるものである。此の意味に於て既に針端コロナ放電の特性に關しては或は實驗的に或は理論的にあらゆる角度から研究が行はれ枚舉に暇がない。例へば Chattock, <sup>(1)(2)</sup> Precht, <sup>(3)(4)</sup> Warburg, <sup>(5)(6)</sup> Tam, <sup>(7)</sup> Voege, <sup>(8)</sup> Young, <sup>(9)</sup> Zeleny, <sup>(10)</sup> Edmunds, <sup>(11)</sup> Schumann, <sup>(12)</sup> Thomson, <sup>(13)</sup> Weicker, <sup>(14)</sup> Peek <sup>(15)</sup> の諸家、我國に於ては本多, <sup>(16)~(19)</sup> 西, <sup>(20)</sup> 別宮, <sup>(21)</sup> 山下, <sup>(22)</sup> 雄山, <sup>(23)</sup> 中西, <sup>(24)</sup> 淺見, <sup>(25)</sup> 熊谷, <sup>(26)(27)</sup> 宮本, <sup>(28)</sup> 鈴木, <sup>(29)(30)</sup> 等諸氏の研究を擧げる事が出来る。

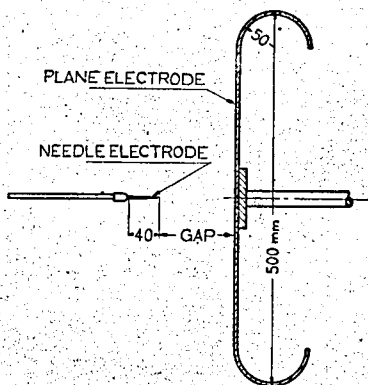
併し之等は單にコロナ開始電壓及び火花閃絡電壓を主題とするもの多きに鑑み、本文は針端コロナ全般に涉つて取扱ふと共に、特に針端角度の立場から針端放電を観察したものである。先づ順序として針端コロナ特性が針端對平板電極配置下に最も判然たる性質を現すを以て、其の概括的特性に就て筆者の實驗に既往の研究を對照しつゝ論述し、次に之が不整性及び電極消耗に關しての實驗的研究に就て記し、最後に針端角度が放電特性に如何に影響するかに就て報告することとする。高壓放電現象の究明上並に高壓機器設計に必要な數値を得る工學的目的より見て本文が多少とも寄與する處あらば幸である。

## II. 針端對平板コロナ放電の概括的特性

## 1. 實驗及び其の裝置

針端對平板コロナ放電特性として、其の放電開始電壓、電壓電流特性曲線等に就き測定を行つた。

針端としては『大くけ』針の新品を用ひ、之に對する平板としては周邊効果を除去した銅板を用ひた。其の配置の模様



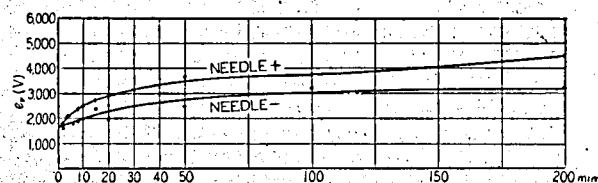
第1圖 針端對平板電極圖

を第1圖に示す。實驗裝置並に方法の詳細は別報<sup>(43)</sup>を参照されたい。(附録工)参照

## 2. 放電開始電壓

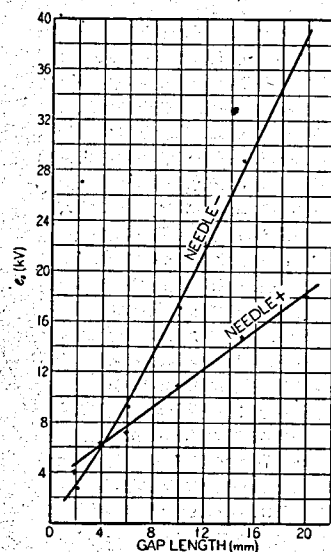
周知の如く針端對平板電極の如き不平等電界下の放電に於ては電極間に印加する電壓を零より次第に上昇せしめるに従ひ、電極配置、周圍状況等に依り、暗流狀態よりコロナを生ぜずして直に火花に遷移する場合と、暗流狀態より一旦安定なコロナを發生し更に電壓を上昇する事に依り火花に移る場合とある。依つて茲にはコロナ開始電壓を  $e_v$ 、コロナより火花に移る時の火花電壓を  $e_s$ 、暗流より直に火花に移る時の火花電壓を  $e_d$  とする。

(a)  $e_v$  の値 筆者の實驗の結果に依れば、 $e_v$  の値と間隙距

第2圖  $e_v$  と間隙距離との關係

離の關係は第2圖に示す如く得られた。間隙距離の増大と共に明かに増大し、針端正の場合に高く現れることを知る。之は Zeleny 氏<sup>(10)</sup> が先端半球狀針金電極に關して  $e_v$  と針金半徑との間の實驗式を提案し詳細な研究を行つた結果とよく一致した。

(b)  $e_s$  の値  $e_s$  の値を間隙距離に就て表せば第3圖の如くなる。4mm が此の場合の臨界間隙距離なる事を知る。針端正負何れの場合に於ても略直線的關係のある事を示し、臨界間隙以下を除けば下の實驗式を得る。但し  $S$  は間隙距離(cm)である。

第3圖  $e_s$  と間隙距離との關係

\* Characteristics of Corona Discharge from Needle Point. By R. UENISI, Member. (Institute of Electrical Engineering, Kyoto Imperial University.)



針端負の場合  $e_s = 21.3 \times S - 3.6 \text{ kV} \dots\dots\dots (1)$

針端正の場合  $e_s = 7.7 \times S + 3.0 \text{ kV} \dots\dots\dots (2)$

此のやうに  $e_s$  と  $S$  との関係が直線的であると言ふ事は注目し得るものであつて、上式  $e_s$  に於ける 21.3 kV なる値に對し鈴木氏<sup>(31)</sup> は針金對平板の場合の  $e_s$  を測定して 23.5 kV なる値を得て火花直前の電界が一樣に此の強さであると結論して居るが、筆者の實驗は針端對平板の場合であるから此の數値が一樣電界に基因するものであるか否か不明であるが、火花直前の電界値と密接な關係にあらう事は想像される。

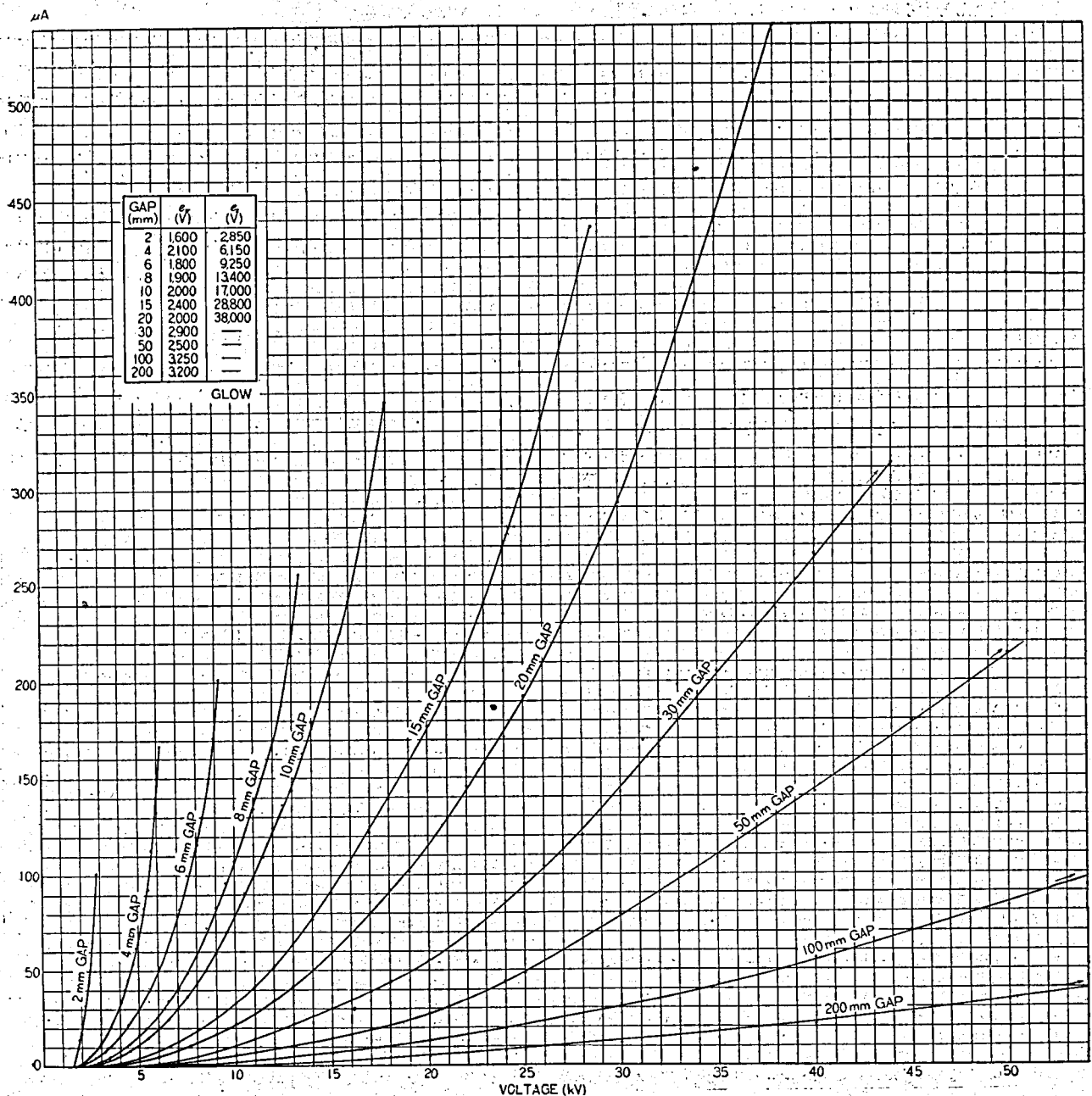
### 3. 電壓電流特性

實驗結果は針端負の場合が第4圖、正の場合が第5圖である。明かに間隙長大なるもの程、又正は負に比して電流増加の割合が

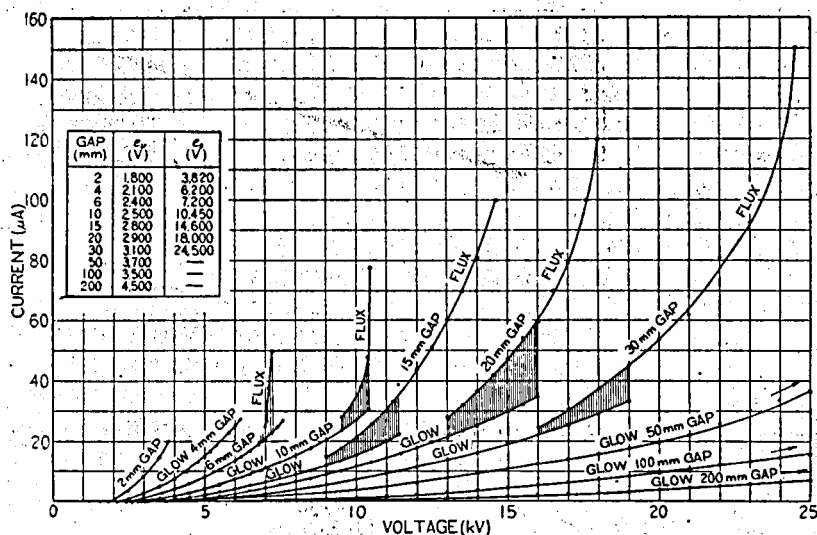
小なるを見る。間隙距離小なる場合に於ては電流増加急激なるのみならず、コロナ開始直後の微少コロナ電流は極めて不安定で、一般に其の程度は針端負の場合に甚しい。

周知の如く針端正コロナ電壓電流曲線には電流増加の不安定なる範圍がある。之は負放電には認められない處であつて、此の不安定範圍の前後に於て放電形式が内容外觀共に一變する。 $e_s$  より電壓を次第に上昇せしめれば暈光コロナ (Glow) の状態より次第に刷子コロナ (Brush) の状態に移り、次に飛躍的に電流大にして叱音を伴ふ束狀コロナ (Flux) となり、外觀上正負兩極は光柱に依り連結される。此の不安定の範圍では實驗結果より知られる如く、同一電壓に對し暈光又は刷子放電と束狀コロナの二種の電流が對應し得る。

電壓電流特性曲線を表す式として Warburg 氏<sup>(32)</sup> は  $\alpha, M$  を



第 4 圖 コロナ電壓電流特性(針端負)



第5圖 コロナ電圧電流特性(針端正)

常数として次式を與へ、

$$i = aV(V-M) \dots \dots \dots (3)$$

更に Tamm,<sup>(7)</sup> Zeleny,<sup>(10)</sup> Ewers<sup>(33)</sup> 等の諸氏は之と同様の實驗式を與へて居る。又 Finkelstein-Cukier 氏<sup>(34)</sup> は更に  $b$  を常数として、

$$i = a(V-M)(V+b)^2$$

を提案して居る。又宮本氏<sup>(28)</sup> 鈴木氏<sup>(35)</sup> 等は理論的に此の關係式を算出せんと試みて居る。併し筆者の實驗結果に基き放電の不整を考へれば、實用上電壓電流の關係式は Warburg の型にて充分であり、 $a$ ,  $M$  などの常數も極めて不確實と言はねばならない。又正放電に於てはコロナに二形式が存在する故、放電形式に従ひ夫々別々の電壓電流式を必要とすべく、從つて正放電及び交流放電に於ける電壓電流特性式及びコロナ損の公式等を全電壓に就て一つの式にて與へるのは無理があるが、實用上は Warburg の式にて充分と思はれる。

### III. 針端放電特性の不整性

#### 1. 序言

本節にては針端放電特性の不整性に就て前節に於て用ひたと同様の電極配置下に實驗を行ひ、之に對する論議をなした。

#### 2. 實驗

實驗は次の三つの場合に就て行つた。

(a) 一箇の針端に於ける放電特性の不整性 先づ同一針端に就て繰返し電壓を印加し、放電毎に電流値に如何なる不整が現れるかを見た。電壓印加に依り電流を通ずる時は電極消耗を來す。之は放電特性に大なる影響あるものと考へられるに依り、電流値を小に取り極力電極の消耗を來さざるやう注意した。

(b) 針端角同一なる多數の異つた針端の放電特性の不整性 供試品は何れも 75 倍顯微鏡下に檢し、互に相違を認めざる程度に精緻に 30° の先端角を保たしめたものを用ひ、前記同様の實驗を行つた。

(c) 任意の出來合の針端の放電特性の不整性 電極は何れも『大くけ』針の新品を全く任意に採り試験したものである。此

の場合にも種々なる電壓値に對する電流値の不整を放電を數十回繰返す事により調べた。

#### 3. 論議

放電の不整に關しては Zeleny,<sup>(10)</sup> Warburg 及び Gorton,<sup>(36)</sup> 西,<sup>(20)</sup> 本多,<sup>(19)</sup> 久保,<sup>(38)</sup> 別宮,<sup>(37)</sup> 丹野,<sup>(39)</sup> 鈴木,<sup>(40)</sup> 等諸氏の報告があり、何れも  $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$  等の電壓のみに就て論じて居る。筆者の實驗では  $e_1$ ,  $e_2$  の値の他に各電壓値に對するコロナ電流が如何なる程度の不整を示すかを求めたもので、實驗結果を通觀するに、同一針端に於ても又任意に取つた異なる針端の場合にも、其の先端の形が明かに相違するにも拘らず其の不整の程度は大なる相違を認めなかつた。即ち針端放電特性の不整性は電極形狀の多少の變動或は尖端の吟味に影響される事なく常に同程度に現れる事を

知つた。(附録Ⅴ)参照

又不整は  $e_0$  値附近に甚しく、更に負放電に於て大なる事も認められた。

筆者の實驗では凡て毎回注意して電極先端を拭ひ之を清淨ならしめたが、拭はざる時には甚しい不整を生じた。之は氣中塵埃の附着に依るものと考へられ、大氣中の針端放電の不整に空氣中の塵埃の附着の影響は閑却出來ぬ。

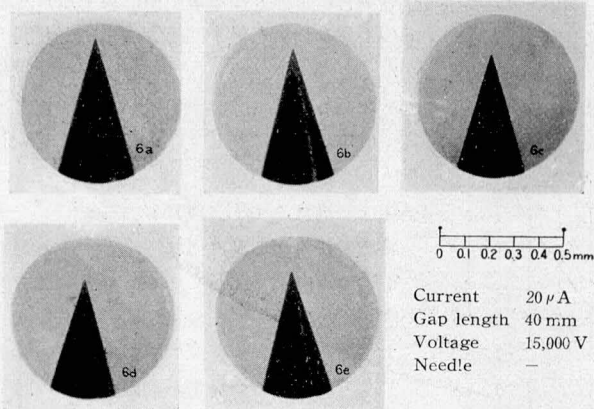
周知の如く針端放電に於ては放電開始電壓  $e_0$  即ち所謂 Anfangsspannung は必ずしも電流停止時の電壓即ち所謂 Minimumspannung に一致しない事は Warburg 及び Gorton 兩氏<sup>(36)</sup> 等により指摘せられ、此の場合光線照射に依り兩電壓を一致せしめ得る場合ある事まで究明されて居り、筆者の實驗に於ても Anfangsspannung と Minimumspannung の存在は認め得たが、紫外線の照射(ACME 水銀燈, 80 cm. の距離)に依り兩者は一致せしめ得なかつた。

紫外線の影響は、 $e_0$  の多少の低下、特に電壓降下時に於ての低下即ち Minimumspannung の低下となつて現れる外、一般に放電電壓電流特性の上に現れないことを認めた。

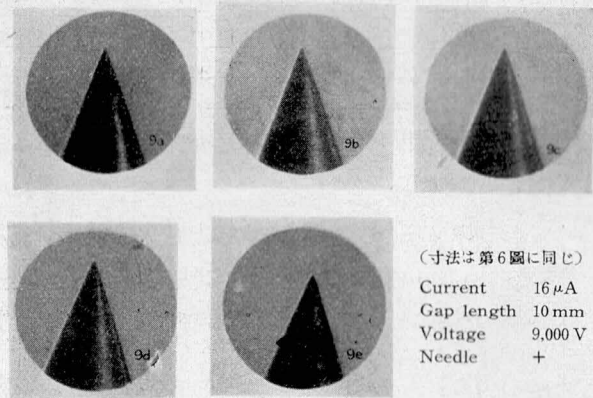
#### IV. コロナ放電に伴ふ針端の消耗

コロナに伴ふ針端電極の消耗に關しては Finkelstein-Cukier 氏,<sup>(34)</sup> 本多氏<sup>(41)</sup> 等の研究がある。針端電極を利用して連續的に動作する如く作られたコロナ風電壓計、コロナ風車等の設計に於ては、コロナ放電に伴ふ電極の消耗程度に就て相當考慮を拂ふべきであると言ふ意味に於て、筆者は針端對平板電極に於て前節に述べた實驗裝置の下に針端消耗の程度を調べた。

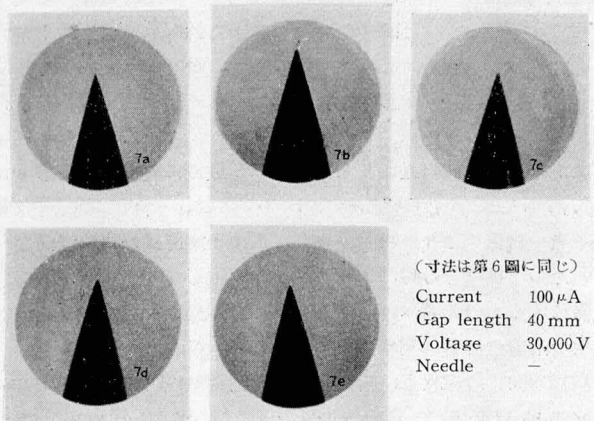
(a) 針端負の場合 第6圖、第7圖及び第8圖は此の場合の實驗結果より得た針端寫眞である。第6圖は間隙距離 40 mm, 印加電壓 15,000 V の下に於て約 20  $\mu$ A のコロナ電流を通じたもので、a は供試前、b, c, d, e は電壓印加後夫々 30 秒, 1 分, 4 分, 10 分後に於けるものである。第7圖は同じく間隙距離 40 mm, 印加電壓 30,000 V の下に於て約 100  $\mu$ A のコロナ電流を通じたもので、a, b, c, d, e は夫々供試前、電壓印加後 30 秒, 1 分, 4 分, 10 分のものである。第8圖は間隙距離 15 mm, 印加



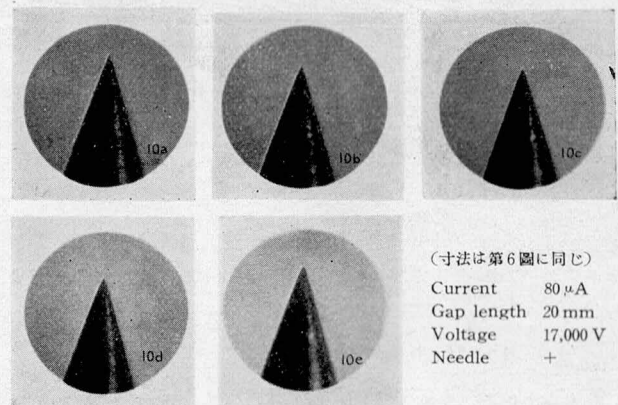
第6圖 負コロナに伴ふ電極の消耗



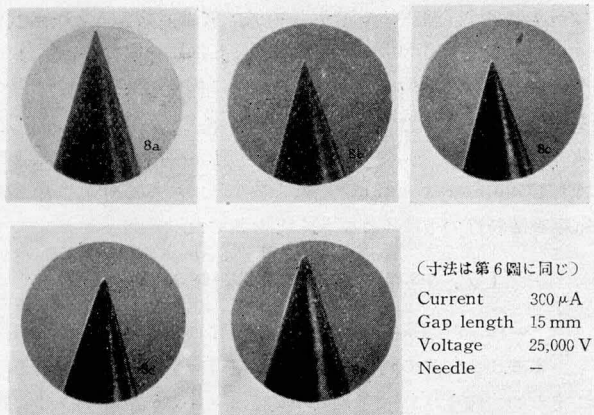
第9圖 正暈光コロナに伴ふ電極の消耗



第7圖 負コロナに伴ふ電極の消耗



第10圖 正束状コロナに伴ふ電極の消耗



第8圖 負コロナに伴ふ電極の消耗

電圧 25,000 V の下にて約 300  $\mu$ A のコロナ電流を通じたもの、a, b, c, d, e は夫々供試前、電圧印加後 30 秒、1 分、4 分、10 分の結果である。第6圖の場合の如く電流値小なる場合は殆ど先端の消耗は認められないが、第8圖の場合の如く 300  $\mu$ A 程度の下では相當量の消耗あるを知る。併し之も最初 30 秒程度にては著しくはない。

(b) 針端正の場合 第9圖及び第10圖は此の場合の實驗結果より得たもので、第9圖は間隙距離 100 mm、印加電圧 9,000 V の下にて約 16  $\mu$ A のコロナ電流を通じた時の結果であつて、

a, b, c, d, e は夫々供試前、電圧印加後 30 秒、1 分、4 分、10 分のものである。第10圖は間隙距離 20 mm、印加電圧 17,000 V の下にて約 80  $\mu$ A のコロナ電流を通じた場合のものであつて、此の時のコロナは正束状コロナの状態を示し、太きコロナ光條1本に依り電極が短絡せられ金屬性叱音を發した場合、a は供試前、b, c, d, e は夫々電圧印加後 30 秒、1 分、4 分、10 分を経たもので、尖端は尖つて消耗するのを認めた。

(c) 論議 正負兩コロナを同一條件の下、即ち同電壓、同電流、同間隙の下にて其の消耗を比較し得ないが、上の結果より見るに例へば負コロナに於ける第6圖と、正コロナに於ける第9圖の場合とを比較するに、後者即ち正コロナの方が電流並に電圧値小なるにも拘らず消耗の程度は稍大なるを認める。然るに第10圖の場合の如き正束状コロナの場合に於ては、第9圖の場合に比するに電壓電流共に大なるに拘らず消耗の程度は大でない。第9圖の場合には暈光コロナ大なるに反し、第10圖の場合には正束状コロナなるを見れば、電極消耗はコロナ形式に左右され、

(1) 暈光コロナでは正に大に負に小に現れ

(2) 正束状コロナでは暈光コロナより小に現れる

ものと考へられる。本多氏<sup>(41)</sup>等が正條コロナに電極消耗なしと斷定せるは此の場合を指すものであらう。又交流コロナに依る針端消耗の程度に就ても、交流コロナは正負兩コロナの交互に起つたものである以上大體上記の結果を重疊したものとなるべきである。何れもコロナに依る損傷の程度は、上記實驗の範圍に於ては電圧印加時間 1 分を出でざる時は顯著に現れない。電極消耗は當

然正負兩イオンの電極射突作用に依るものと考へられるから、單に外面的な電壓電流値のみを以て律する事は不可で、其の放電形式に依り與へられる正負兩イオンの割合、速度等に依り定まるべき事は論を俟たぬ。尙前節の不整性に就て論じた結果よりすれば茲に實驗せる程度の消耗は電壓電流特性の不整性に對して問題とならない事を知る。

## V. 種々なる針端角度に於ける放電特性

### 1. 序言

針電極の放電特性に於て其の先端圓錐角が放電特性に如何なる影響を及ぼすかは現象的にも興味ある事であり、同時に工學的に見ても例へば避雷效果の研究又は高壓機器の設計等の上から極めて重要な事柄である。然るに此の針端圓錐角を Parameter とした實驗は其の例を餘り多く見ない。僅に Precht, Nagel 等の諸氏に依つて大體の傾向が示されて居るに過ぎない。Precht 氏<sup>(3)</sup>は錫箔の先端を各種の角度に切斷して尖らせたものに就て放電特性を求め、正負兩極性に依る  $e_v$  値の相違を求め、Nagel 氏<sup>(42)</sup>は一針端のみ存在する場合及び對立針端の場合に就ての  $e_v$  値を直徑 2.5 mm の鐵線針端に就き圓錐角を種々變へて求めて居る。

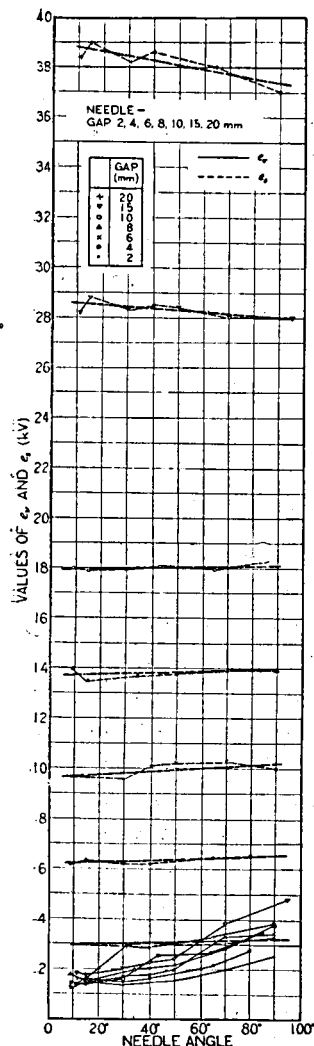
何れも圓錐角の増加と共に  $e_v$  の増加の傾向あるを示して居る。又 Weicker 氏<sup>(14)</sup>も圓錐角を Parameter とした  $e_s$ ,  $e_d$  に就き測定を行つて居る。

筆者は此の點に鑑み先端圓錐角が  $e_v$ ,  $e_s$ ,  $e_d$  に如何に影響するか、又電壓電流特性と如何なる關係あるかを明かにせんと試み、下記の二つの場合に分けて實驗を行つた。(附録Ⅲ)参照

### 2. 針端角が針電極の先端のみにて構成される場合

(a) 實驗方法 針端としては徑 0.8 mm の鋼線を用ひ、其の先端を圓錐形に磨き上げ、種々なる頂角<sup>(43)</sup>を持つものを作つた。而して此の電極を前節に述べたと同様の平板電極に相對せしめ、 $e_v$ ,  $e_s$ ,  $e_d$  及び電壓電流關係を間隙距離 2 mm 乃至 20 mm、針端角 9° 乃至 95° の範圍に涉つて測定した。

(b) コロナ開始電壓、火花電壓  $e_v$ ,  $e_s$ ,  $e_d$  の値が針端角度に依り如何に變るかに就て、種々なる間隙距離の下に測定した結果を、針端負の場合を第 11



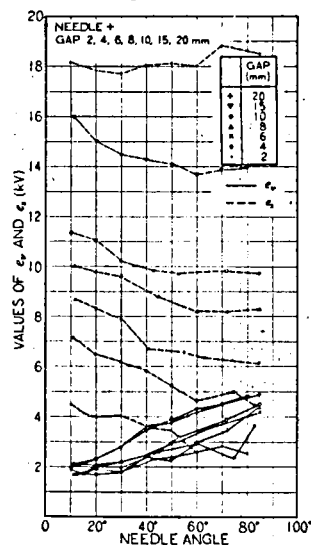
第 11 圖 針端角と  $e_v$ ,  $e_s$  との関係(針端負)

圖、針端正の場合を第 12 圖に示す。

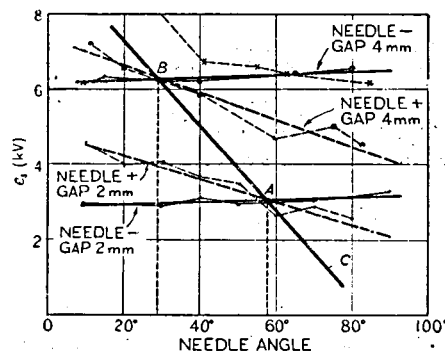
i.  $e_v$  の値 上圖より針端正負何れの場合に於ても略同様に針端角の増大と共に増大する事を知る。其の程度は間隙距離大なるに従つて大なる傾向ある事、針端正の場合の方が負の場合に比し、一般に各針端角を通じて同じ間隙距離に對し  $e_v$  の値大となつて現れる事を知る。實驗中間隙に加へる電壓を零から次第に上昇せしめ  $e_v$  値を求め、或は  $e_v$  値より大なる電壓値から次第に電壓を減じて  $e_v$  値を求める

に當つて、一般に其の値は一致せず相當程度の不整性を持つ事は前述の通りであるが、各針端角を通じて此の事は成立し且つ針端角を増大する程上記不整性の程度を増す。正針端の場合は負針端の場合に比し各針端角を通じて比較的安定な値を得た。

ii.  $e_s$  の値  $e_s$  の値は針端負の場合には略針端角の相違に依つて變化する事なく一定に現れる。唯間隙距離大なるものに於ては多少針端角の増加に従ひ減少する傾向ある事を知る。針端角並に間隙距離の左程大ならざる範圍に於ては、針端角の變動が何等  $e_s$  に影響しないと言ふ事實は、針端を針端火花電壓計として使用する場合、其の針先の吟味を重く視る必要なきこととなり實用上有利な事柄である。次に針端正の場合は一般に針端角の増大と共に却つて減少する事を認めた。又明かに正の場合は負の場合に比し臨界間隙以上にては小となつて居るが、此の關係を明かにする爲、實驗結果中臨界間隙に關係せるものを選出し、正負同一圖に畫けば第 13 圖の如くなる。A, B は夫々間隙距離 2 mm, 4 mm

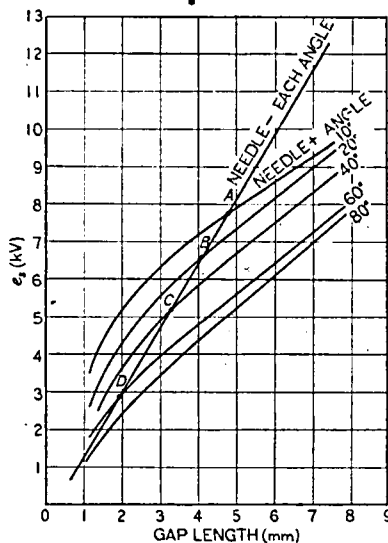


第 12 圖 針端角と  $e_v$ ,  $e_s$  との関係(針端正)



第 13 圖  $e_v$  と針端角との關係

の場合の正負兩特性曲線の交點で夫々 2 mm, 4 mm が臨界間隙となるべき針端角及び電壓値を與へる。間隙距離更に大となる時は、斯くの如き點は更に針端角小なる點即ち電壓大なる點に起る事を知る。即ち臨界間隙に相當する電壓は針端角の大なる程小となり、其の傾向は C 線の如くなるものと考へられる。従つて臨

第 14 圖  $e_s$  と間隙距離との関係

に拘らず  $e_s$  値の一定なる事は(1), (2)式が一般に成立する事を示す。

iii.  $e_a$  の値 コロナ放電の過程を経ずして放電開始と共に直に火花放電に到る電圧  $e_a$  は、僅に針端正の場合にて針端角小なる時現れる。上の実験結果では間隙距離 2 mm にて針端角 60° 以上に於て現れるのみである。

(c) 放電形式 実験の範囲に於ては、針端負の場合は青白色光輝を伴ふ暈光放電のみ生起し、間隙距離大となる時は刷子放電となるも、針端角の大小に依り何等放電形式の相違を認め得ない。然るに針端正の場合には全く趣を異にし、正放電の特徴たる金屬性叱音を發生する束状コロナの生起を見、之が針端角の大小に依つて左右されると言ふ性質がある。即ち筆者の実験結果<sup>(43)</sup>に依り、針端角の大小如何に依り、

- (1) コロナ開始後暈光放電のみ起り火花に遷移する場合
- (2) 暈光放電より束状コロナを経て火花に移る場合
- (3) コロナ開始と共に直に束状コロナとなりそれより火花に移る場合
- (4) 暗流より直に火花となる場合

の 4 種の電壓電流特性曲線の形式の存在を認め得る。間隙距離小なる時は實驗に使用した針端角の範囲にては針端角如何に拘らず第一の場合の放電形式を取るも、間隙距離 4 mm 以上の時は針端角が或る値以上の時に同じく第二の放電形式を取り、以下の時には第一の放電形式を取る。此の針端角の値は約 40° 乃至 20° で間隙距離大なる程小なる角値で第二放電形式を取るに到る事を認めた。又第三放電形式を取るは間隙距離 8 mm 以上、針端角 85° 以上に於てである事を知つた。實驗結果の全部は別報<sup>(43)</sup>に譲る。要するに間隙狭く、針端角鋭き場合には第一の放電形式を取り、間隙廣く針端角大となる程順次第二、第三、第四の放電形式を取るに到る事が察知される。

(d) 安定性 一般に正コロナは暈光、束状コロナを通じて負コロナに比し其の電流安定であるが、針端角が増大する程正負何れのコロナ電流も其の不安定性を増す。

(e) 電壓電流特性曲線 實驗結果<sup>(43)</sup>に依れば電壓電流特性曲線の性質は次の如くである。 $\frac{di}{dv}$  の値に就ては、 $e_v$  附近にて

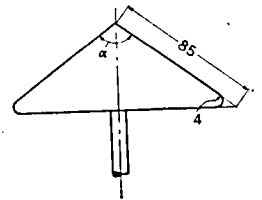
は負針端の場合には針端角と共に増すが、正針端の場合には針端角に依り大なる變化を認めぬ。又正針端の場合に小で負針端の場合に大である事は何等針端角に影響されない。正コロナに不連続特性あり、之は針端角に依り異つた性質を示す事は(c)にて述べた如くである。

### 3. 尖端角が電極の全體を構成する場合

(a) 實驗方法 全電極が尖端角を形成するやう第 15 圖の如き圓錐形電極を作り、其の頂角  $\alpha$  が

- 5°, 10°, 20°, 30°, 40°, 53°,  
60°, 80°, 100°, 120°, 140°,  
150°, 160°, 170°

の 14 種なるやう仕上げた。之を前節に於て述べたと同様に平板電極に相對せしめ其の放電特性を検することとした。



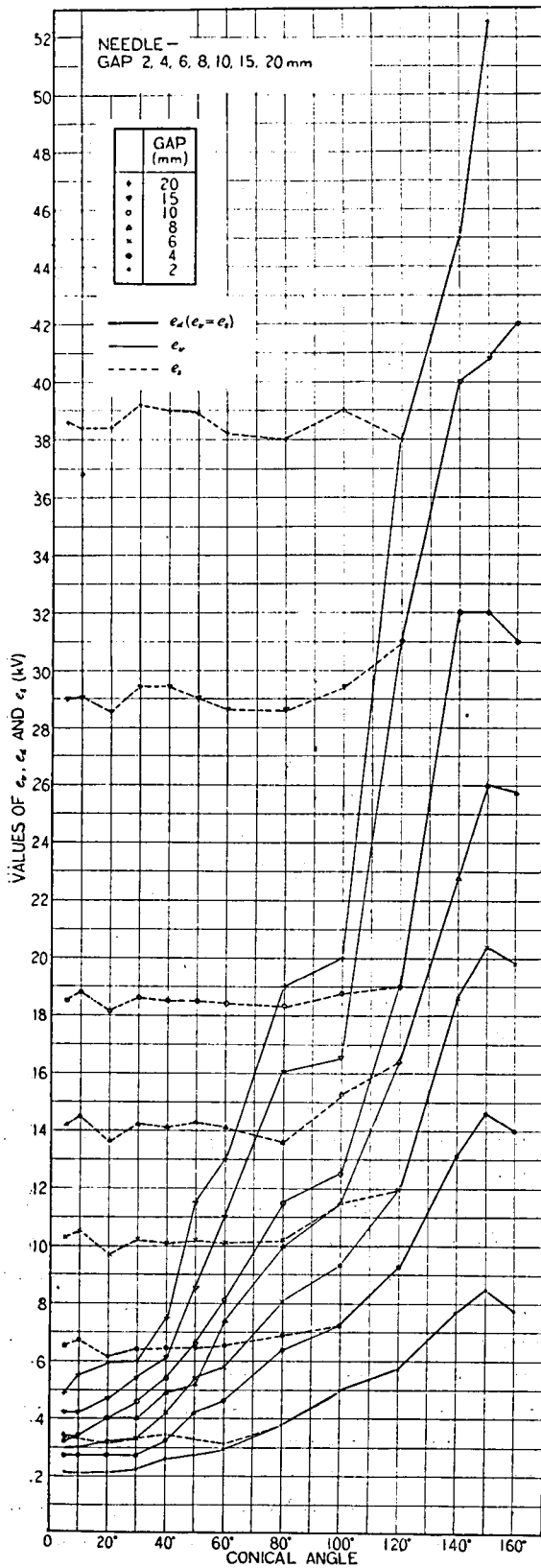
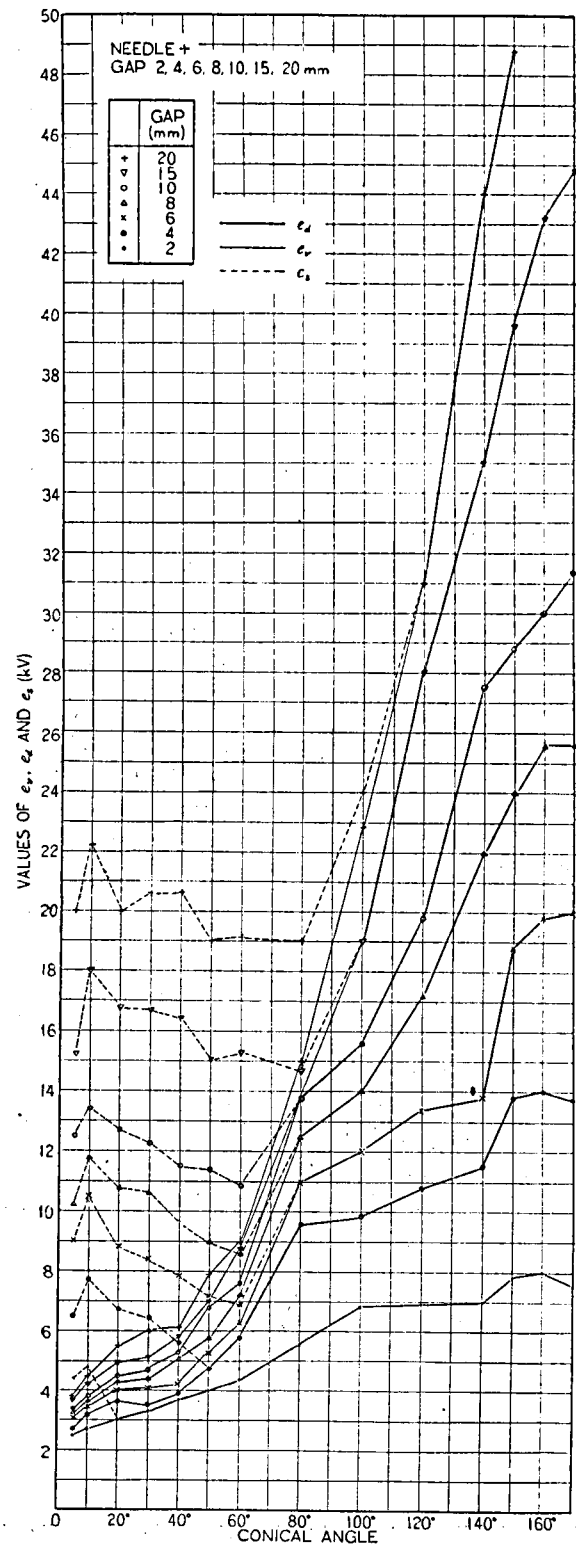
第 15 圖 圓錐形電極

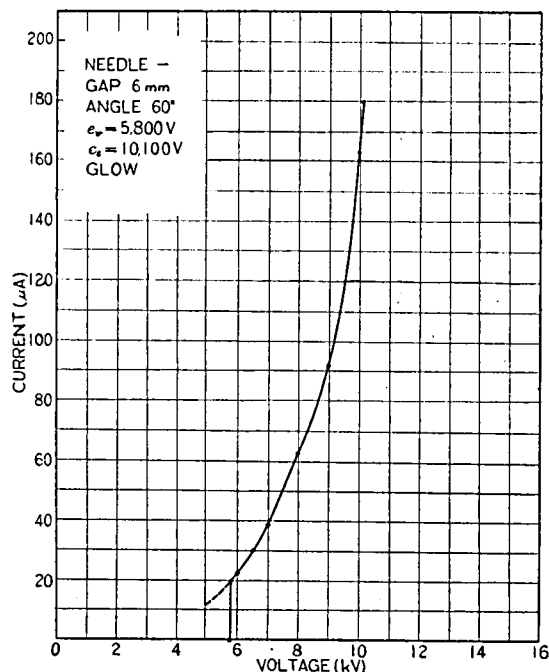
(b) コロナ開始電壓、火花電壓  $e_v, e_s, e_a$  の値が尖端角度に依り如何に變るかに就て種々なる間隙距離の下に測定した結果に就き、尖端負の場合を第 16 圖、尖端正の場合を第 17 圖に示す。

i.  $e_v$  の値 上圖より尖端正負何れの場合に於ても略同様に尖端角の増大と共に  $e_v$  の値は増大する事を知る。其の程度は間隙距離大なるに従ひ大となる傾向あり、又何れも間隙距離の増加と共に  $e_v$  の値を増す。又  $e_v$  の値の安定性も正尖端の場合に大なる事、及び尖端角大となる程不安定となる事等すべて前節の場合と同様であるが、唯  $e_v$  値の大小に就ては尖端正の場合の方が負の場合に比し各尖端角を通じて一般に(大體間隙距離 8 mm 程度以上)小になつて現れると言ふ特異性がある。次に電壓電流特性曲線上より  $e_v$  を見るに、例へば第 18 圖の如く、放電開始時に於て電流は電壓と共に漸増する事なく突然或る値を取り、夫より後は連続的に増加する場合がある。之は尖端角大なる程顯著に認められるもので、正負極性の如何を問はぬ。斯くの如き場合に於て電流を或る値より漸減すれば、第 19 圖に於ける  $e_v$  に相當する A 點を越えて連続的に B, C と電流を減少して C 點に達する如く想像されるが、事實は多く A 點附近又は A 點より多少電壓値小なる處にて急に電流零となるを認める。併し C 點は此の電壓電流特性曲線の原點と考へられる故、此の C 點に相當する電壓を  $e_{ab}$  と名付けることとする。然らば  $e_v$  と  $e_{ab}$  の差は尖端角大なるもの程大なりと言ひ得る。此の事實は前節の場合に於ても生起するが、其の程度は圖に現れない位小なるものである。斯くの如く  $e_v$  と  $e_{ab}$  の差の起るのは尖端の幾何學的性質に關係するものと考へられる。今尖端を第 20 圖 A の如きものと考へれば B の場合に比し明かに  $e_v$  値は大であらう。併し一旦コロナの發生した後は豊富なるイオンにより構成されるコロナは C の如く尖端作用を行ひ、實際上 B の如き電極と同様の電壓電流特性曲線を描くものと考へられる。前節の場合に於けるよりも本節の場合に於ては A の如き尖端多き故、本節の場合に  $e_v - e_{ab}$  の大なる事は首肯される。

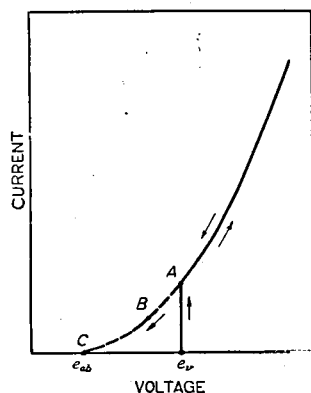
ii.  $e_s$  の値  $e_s$  の値は尖端負の場合略尖端角の相違に依つて變化する事なく一定に現れる事を知る。之は前節の場合と同様である。又尖端正の場合には前節の場合と同様に尖端角の増大と共に減小する事を認める。是等は尖端角を Parameter とした場合



第 16 圖 圓錐角と  $e_v, e_s, e_d$  との関係 (尖端負)第 17 圖 圓錐角と  $e_v, e_s, e_d$  との関係 (尖端正)

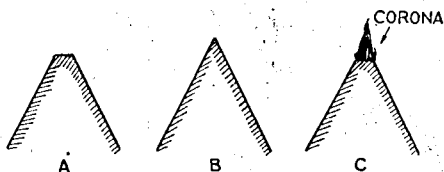


第 18 圖



第 19 圖

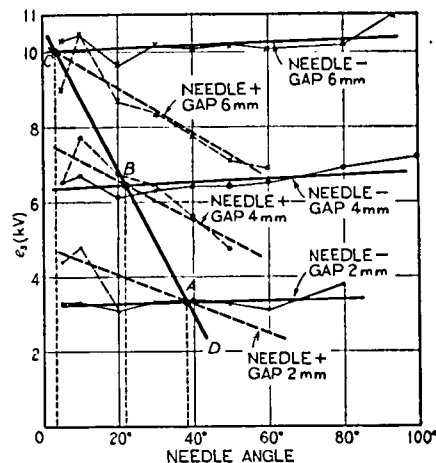
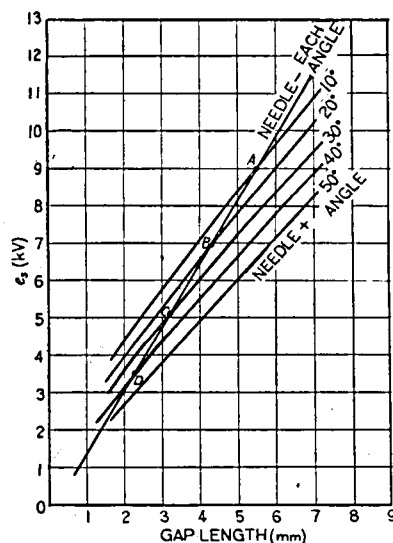
の特異性と考へられる。又此の場合にも臨界間隙の存在が認められ、實驗結果中より臨界間隙に關係あるものを摘出し、正負同一圖に畫けば第21圖の如くなる。A, B, C は夫々間隙距離2, 4, 6 mm の場合の正負兩特性曲線の交點であつて夫々2, 4, 6 mm が臨界間隙となるべき尖端角及び電壓値を與へる。此の圖より前節の場合と同様、間隙距離更に大となるに従ひ、斯くの如き點は更に尖端角小なる點即ち電壓大なる點に起る事を知るから、臨界間隙は尖端角度の大小に依つて變化し尖端角大なる程其の値小となり、それに對する  $e_v$  値も亦小となるのを知る。



第 20 圖

従つて臨界間隙の大なるは尖端角の小なる場合である。此の事實を明確にする爲に  $e_v$  を間隙距離に對して求めれば第22圖に示す如くなり、圖中 A, B, C, D は夫々尖端角が 10°, 20°, 30°, 40°, 50° に相當する臨界間隙長を與へる。

iii.  $e_a$  の値 前節の場合に反して正負及び間隙長如何を問は

第 21 圖  $e_g$  と尖端角との關係第 22 圖  $e_g$  と間隙距離との關係

ず尖端角が或る値以上に於ては必ず  $e_a$  の値が存在する。 $e_a$  の値は何れも間隙長、尖端角大なるもの程大、又正負の差は甚しく認められぬ。

(c) 放電形式 實驗の範圍に於ては尖端負の場合は青白色光輝を伴ふ暈光放電のみ起り、間隙距離大となれば刷子放電となるも、尖端角の大小に依り何等放電形式に相違を認め得ない事は前節の場合と同様である。尖端正の場合に於ては前節の場合と同様4種の放電形式がある。間隙距離小なる時は尖端角如何に拘らず前節に示した第一の場合の放電形式を取るも、間隙距離6 mm乃至8 mm にては尖端角50°以上となれば第三の放電形式となり、コロナ開始と共に直に束狀放電となる。然るに10 mm以上の間隙に於ては、間隙距離大なる程、大なる如き尖端角の或る値以上にて第三の放電形式を取る事を認めた。以上の實驗結果は別報<sup>(43)</sup>せる處を要約したものであるが、要するに間隙狭く尖端角鋭き時は第一形式を、間隙廣く尖端角大なる程順次第二、第三、第四放電形式を取るに到る事を知る。

(d) 安定性 前節の場合と同じである。

(e) 電壓電流特性曲線  $\frac{di}{dv}$  の値は正負を通じて  $e_{ab}$  附近

にては尖端角大なるもの程小, 電流大なる處では尖端角大なるもの程大なる事を認めた。

## VI. 結 言

以上に依つて針端コロナの外面的な特性を明かにし得た。特に針端角を Parameter とする事に依り一層其の性質を究め得た。

## 参 考 文 献

- (1) Chattock: Phil. Mag. 32, 285 (1891) (2) Chattock: Phil. Mag. 20, 266 (1910) (3) Precht: Wied. Ann. 49, 150 (1893) (4) Precht: Ann. d. Phys. 66, 676 (1898) (5) Warburg: Wied. Ann. 62, 385 (1897) (6) Warburg: Ann. d. Phys. 2, 295 (1900) (7) Tam: Ann. d. Phys. 6, 259 (1901) (8) Vorge: Ann. d. Phys. 18, 606 (1905) (9) Young: Phil. Mag. 13, 542 (1907) (10) Zeleny: Phys. Rev. 25, 305 (1907) (11) Edmunds: Phil. Mag. 28, 234 (1914) (12) Schumann: Elektrische Durchbruchfeldstärke von Gasen (13) J. Thomson: Conduction

of Electricity in Gas, Vol. II (14) Weicker: E.T.Z. 32, 436 (1911)

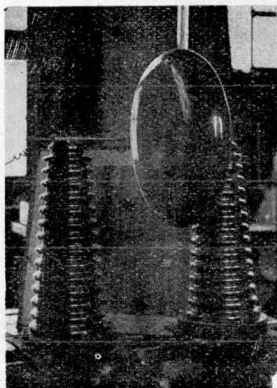
- (15) Peek: Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering (16) 本多: 理研彙 6, 494 (昭2) (17) 本多: 理研彙 8, 319, 467 及び 530 (昭4) (18) 本多: 理研彙 9, 991 (昭5) (19) 本多: 聯合大會講演豫稿 46 (昭5) (20) 西・石黒・渡部: 聯合大會講演豫稿 17 (昭5) (21) 別宮・橋崎: 電試研 第249號 (昭4) (22) 山下: 電學誌 49, 1369 (昭4) (23) 雄山: 聯合大會講演豫稿 9 (昭6) (24) 中西: 電學誌 54, 573 (昭9) (25) 淺見: 電學誌 52, 210 (昭7) (26) 熊谷: 電學誌 52, 79 及び 586 (昭7) (27) 熊谷: 聯合大會講演豫稿 5 (昭8) (28) 宮本: 電試研 第380號 (昭10); 第398號 (昭11) (29) 鈴木: 電學誌 51, 233 (昭6) (30) 鈴木: 電學誌 56, 763 (昭11) (31) 鈴木: 電學誌 51, 233 (昭6) (32) Warburg: Wied. Ann. 67, 69 (1899) (33) Ewers: Ann. d. Phys. 17, 781 (1905) (34) Finkelstein-Cukier: Ann. d. Phys. 71, 509 (1923) (35) 鈴木: 電學誌 56, 807 (昭11) (36) Warburg u. Gorton: Ann. d. Phys. 15, 128 (1905) (37) 別宮・丹野: 電學誌 42, 263 (大11) (38) 久保: 聯合大會講演豫稿 13 (昭7); 11 (昭8) (39) 丹羽: 電學誌 43, 262 (大12) (40) 鈴木: 電學誌 57, 200 (昭12) (41) 本多・景守: 第二回工學會大會電氣部會講演豫稿 1 (昭7) (42) Nagel: Arch. f. Elek. 8, 351 (1921) (43) 上西: 電評 25, 533 (昭12)

## 附 録

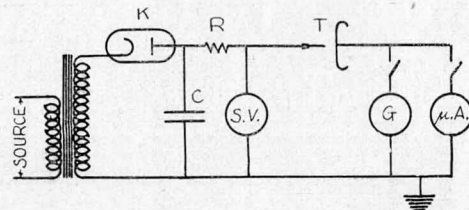
本文に記載を省略せる部分に關し以下附録す。

### 附録 I. 實驗裝置並に方法の説明

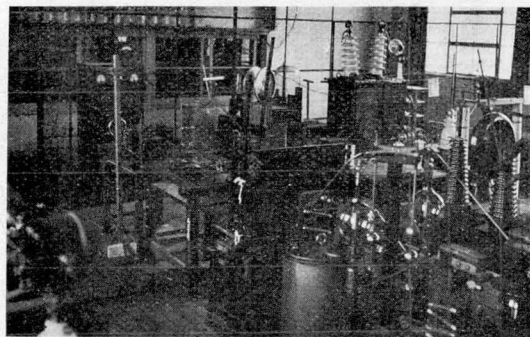
本文第1圖の如き電極配置の下に, 電壓印加に際しては針電極を高壓側に, 平板電極を低壓側に取り, 平板電極と接地線間に直列に檢流計又はマイクロ電流計を挿入し, コロナ電流を其微小値より 800  $\mu$  A. 程度まで連續的に讀む事とした。電壓値は針端子と接地線間に入れたる Starke-Schröder 型靜電壓計に依り讀取つた。特に 6000 V 以下の電壓測定には2メガオーム標準抵抗を直列に入れたる3m. A.のミリアンメーターに依つた。又直流高壓電源には容量0.01 $\mu$ F.のコンデンサーを並列に挿入し, ケネトン整流電壓を平滑ならしめ, その結果はオツシログラムに依り充分確めて置いた。電氣的結線を針端負電壓印加の場合の例に取つて示せば第1圖の如く, 裝置全體は第2圖, 電極配置は第3圖に示す。



第3圖 電極配置



第1圖 電氣結線



第2圖 實驗裝置

### 附録 II. 放電特性の不整性の實驗結果

本文第III節に述べたる針端放電特性の不整性に關する實驗結果を擧ぐれば次の如し。

(a) 一箇の針端に於ける放電特性の不整 第1表、第2表に之を示す。

通電 印加電圧	コ ロ ナ 電 流 (μA)																											
	針端正 間隔距離 15mm.														針端正 間隔距離 15mm.													
	1↓	2↑	3↓	4↑	5↓	6↑	7↓	8↑	9↓	10↑	11↓	12↑	13↓	14↑	15↓	16↑	17↓	18↑	19↓	20↑	21↓	22↑	23↓	24↑	25↓	26↑	27↓	28↑
1600V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1750	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1800	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0
1900	0.04	0.04	0.06	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.03	0	0	0.04	0.04	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0
2000	0.11	0.07	0.06	0.03	0.04	0	0	0	0	0.01	0	0	0.07	0.01	0	0.14	0.08	0.01	0	0.01	0.08	0	0.01	0.98	0	0	0	0
2200	0.27	0.22	0.23	0.18	0.04	0.11	0	0.04	0.05	0.01	0.06	0.21	0.02	0.01	0.27	0.19	0.11	0	0.07	0.22	0.01	0.09	0.35	0	0	0.02	0	0
2400	0.46	0.46	0.35	0.35	0.10	0.32	0	0.04	0.13	0.01	0.02	0.23	0.39	0.07	0.06	0.44	0.41	0.18	0.25	0.23	0.49	0.46	0.28	0.54	0.20	0	0.03	0
2600							0.02	0.32	0.01	0.12	0.45	0.83	0.28	0.30	0.63	0.72	0.55	0.30	0.52	0.63	0.70	0.57	0.75	0.40	0.01	0.08	0.06	0.02
2800							0.02	0.58	0.75	0.34	0.72	0.83	0.75	0.60	0.88	0.95	0.85	0.58	0.78	0.88	0.93	0.85	0.95	0.78	0.20	0.08	0.09	0.09
3000							1.20	0.84	1.12	0.95	1.10	1.10	1.10	1.10	1.14	1.14	1.10	1.10	1.23	1.23	1.18	1.18	1.18	1.18	0.85	0.10	0.95	0.10
3200	電圧上昇 電圧下降																											
3400																												
3600																												
3800																												
4000																												
4200																												
4400																												
4600																												
4800																												
5000																												
5500																												
6000																												
6500																												
7000																												
7500																												
8000																												
8500																												
9000																												
9500																												
10000																												
11000																												
12000																												
13000																												
14000																												
15000																												
16000																												
18000																												
20000																												
22000																												
24000																												
26000																												
28000																												
30000																												

第 1 表 コロナ電圧電流特性

通電 印加電壓	コ ロ ナ 電 流 (μA.)																											
	針端正																						間隔距離 15mm.					
	1↓	2↑	3↓	4↑	5↓	6↑	7↓	8↑	9↓	10↑	11↓	12↑	13↓	14↑	15↓	16↑	17↓	18↑	19↓	20↑	21↓	22↑	23↓	24↑	25↓	26↑	27↓	28↑
2800 V	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
2900	0.05	0.06	0	0	0.02	0	0.01	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
3000	0.12	0.10	0.04	0.07	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0
3100	0.19	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.12	0.13	0.12	0.10	0.11	0.07	0.12	0.13	0.05	0.08	0.07	0.06	0.04	0.03	0.03	0	0.08	0.02	0	0.05	0
3200	0.26	0.26	0.22	0.22	0.21	0.19	0.18	0.21	0.18	0.18	0.18	0.18	0.17	0.20	0.13	0.17	0.13	0.13	0.07	0.07	0.04	0.01	0.15	0.08	0.07	0.02	0	0
3300	0.36	0.33	0.31	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28	0.28	0.26	0.26	0.27	0.26	0.29	0.23	0.25	0.20	0.30	0.18	0.16	0.04	0.04	0.23	0.15	0.20	0.06	0.07	0.04
3400	0.43	0.42	0.39	0.39	0.39	0.37	0.37	0.40	0.35	0.36	0.35	0.35	0.35	0.33	0.33	0.32	0.27	0.29	0.27	0.25	0.10	0.14	0.34	0.23	0.28	0.11	0.11	0.13
3500	0.51	0.51	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.44	0.45	0.44	0.46	0.46	0.45	0.43	0.42	0.35	0.39	0.33	0.30	0.17	0.22	0.44	0.33	0.37	0.23	0.20	0.22
3600									0.55	0.54	0.54	0.55	0.61	0.58	0.49	0.51	0.44	0.44	0.43	0.40	0.32	0.29	0.53	0.40	0.45	0.30	0.32	0.30
3700									0.65	0.63	0.63	0.64	0.68	0.65	0.60	0.62	0.52	0.53	0.49	0.49	0.40	0.35	0.62	0.50	0.58	0.40	0.40	0.40
3800									0.75	0.75	0.75	0.75	0.78	0.78	0.70	0.70	0.63	0.63	0.59	0.59	0.45	0.45	0.72	0.59	0.67	0.50	0.50	0.51
3900																							0.82	0.70	0.76	0.60	0.60	0.62
4000																							0.94	0.80	0.87	0.72	0.72	0.61
4200																							1.18	1.00	1.07	0.96	0.93	0.92
4400																							1.40	1.23	1.32	1.18	1.15	1.16
4600																							1.63	1.48	1.58	1.44	1.40	1.41
4800																							1.90	1.77	1.84	1.72	1.66	1.67
5000																							2.18	2.05	2.08	2.01	1.80	1.91
5200																							2.45	2.45	2.40	2.30	2.21	2.20
5500																							3.0	2.9	3.0	2.90	2.7	2.8
6000																							3.9	3.7	3.7	3.7	3.5	3.6
6500																							4.8	4.8	4.9	4.7	4.5	4.0
7000																							5.9	5.9	5.9	5.9	5.5	5.7
7500																												
8000																												
8500																												
9000																												
9500																												
10000																												
10500																												
11000																												
11500																												
12000																												
12500																												
13000																												
13500																												
14000																												
14500																												
15000																												
e <sub>0</sub> = 15,200 V																												

## (b) 針端角同一なる多数の異つた針端の放電特性不整性

第3表、第4表に之を示す。

印加電圧 V	コ ロ ナ 電 流 (μA) 針端正						
	1.	2	3	4	5	6	7
1600 V	0	0	0	0	0	0	0
1650	0	0	0	0	0	0	0
1700	0	0	0	0	0	0	0
1750	0	0	0	0	0	0	0
1800	0	0	0	0	0	0	0
1900	0	0	0	0.07	0	0.02	0
2000	0	0	0	0.15	0	0	0
2200	0.09	0.07	0.01	0.31	0.01	0.10	0.02
2400	0.28	0.19	0.09	0.50	0.04	0.31	0.10
2600	0.48	0.40	0.47	0.70	0.14	0.58	0.43
2800	0.72	0.62	0.55	0.92	0.28	0.88	0.72
3000	0.98	0.88	0.83	1.18	0.65	1.13	1.08
3200	1.20	1.13	1.13	1.48	1.45	1.39	1.45
3400	1.47	1.45	1.47	1.81	1.85	1.69	1.80
3600	1.82	1.81	1.84	2.17	2.25	2.05	2.18
3800	2.23	2.20	2.30	2.53	2.7	2.44	2.65
4000	2.8	2.7	2.8	3.1	3.1	3.1	3.1
4200	3.1	3.1	3.2	3.7	3.6	3.4	3.6
4400	3.7	3.6	3.7	4.1	4.0	3.9	4.0
4600	4.1	4.1	4.2	4.7	4.6	4.5	4.7
4800	4.7	4.6	4.7	5.2	5.1	5.1	5.2
5000	5.2	5.2	5.3	5.7	5.8	5.6	5.8
5500	6.8	6.8	7.0	7.4	7.3	7.3	7.5
6000	8.7	8.7	8.8	9.3	9.2	9.1	9.3
6500	10.8	10.8	10.9	11.4	11.4	11.3	11.4
7000	13.1	13.1	13.2	13.7	13.6	13.6	13.7
7500	15.6	15.6	15.7	16.2	16.1	16.1	16.4
8000	18.3	18.4	18.4	18.9	18.8	18.9	19.3
8500	21.3	21.5	21.5	21.9	21.8	21.9	22.4
9000	24.7	25.0	24.9	25.3	24.8	25.0	25.9
10000	33.0	33.0	33.0	33.0	32.0	33.0	34.0
11000	42.0	42.0	41.0	42.0	40.0	42.0	43.0
12000	51	51	51	52	50	52	53
13000	63	63	63	63	62	63	66
14000	74	75	75	75	74	77	79
15000	88	89	88	90	88	91	93
16000	102	105	103	105	105	106	110
18000	138	139	139	142	139	140	145
20000	177	180	178	183	177	181	185
22000	220	219	215	219	217	221	223
24000	260	270	270	275	265	275	280
26000	320	330	330	33	320	330	345
28000	390	410	440	41	390	410	420
29000		450	450	450	440	450	
29500					490		
29800	2200 V	2200	2200	1900	2200	1900	2200
28800	28000	29000	29100	29000	29500	29100	28800

第3表 コロナ電圧電流特性

印加電圧 V	コ ロ ナ 電 流 (μA) 針端正					
	A	B	C	D	E	F
2700 V	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.01
2800	0.08	0.04	0.05	0.08	0.04	0.10
2900	0.16	0.14	0.13	0.18	0.14	0.19
3000	0.23	0.23	0.20	0.26	0.23	0.36
3100	0.33	0.31	0.28	0.35	0.30	0.35
3200	0.43	0.39	0.37	0.43	0.40	0.43
3300	0.50	0.49	0.46	0.53	0.48	0.52
3400	0.60	0.58	0.55	0.63	0.57	0.62
3500	0.71	0.70	0.64	0.73	0.67	0.73
3600	0.81	0.78	0.74	0.85	0.78	0.83
3700	0.91	0.87	0.85	0.95	0.90	0.91
3800	1.01	1.01	0.96	1.07	1.00	1.01
3900	1.15	1.12	1.08	1.18	1.10	1.12
4000	1.28	1.24	1.18	1.31	1.24	1.26
4200	1.51	1.49	1.43	1.56	1.50	1.50
4400	1.77	1.76	1.70	1.85	1.76	1.76
4600	2.08	2.03	1.86	2.17	2.03	2.05
4800	2.36	2.31	2.27	2.44	2.33	2.34
5000	2.70	2.8	2.7	2.9	2.80	2.8
5200	3.00	3.1	3.0	3.2	3.1	3.1
5500	3.50	3.6	3.5	3.7	3.6	3.7
6000	6.0	4.5	4.5	4.75	4.6	4.6
6500	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
7000	6.9	6.9	6.8	5.9	6.9	6.9
7500	8.2	8.3	8.1	8.2	8.2	8.3
8000	9.7	9.6	9.5	9.6	9.7	9.7
8500	11.1	11.1	11.0	11.2	11.2	11.3
9000	12.9	12.9	12.8	12.9	12.9	13.0
9500	14.8	14.8	14.6	14.7	14.8	14.8
10000	16.8	16.6	16.5	16.8	16.8	16.8
10500	19.0	19.0	18.7	18.9	19.0	18.9
11000	21.3	21.3	20.9	21.3	21.5	21.2
11500	23.7	23.7	23.5	23.7	24.0	23.8
12000	27.5	27.5	27.5	29	27.5	27.5
12500	30	47	30	44	31	31
13000	33	58	41	54	52	50
13500	65	68	59	65	68	62
14000	77	84	73	77	88	78
14500			91			
15000						
2700 V	2700	2700	2700	2800	2700	2700
14300	14100	14500	14300	14100	14200	

第6表 コロナ電圧電流特性

## (c) 任意の針端の放電特性の不整性

第5表、第6表に之を示す。

印加電圧 V	コ ロ ナ 電 流 (μA) 針端正					
	1	2	3	4	5	6
2700 V	0	0	0	0	0	0
2800	0.04	0	0.07	0	0.05	0
2900	0.12	0.01	0.10	0.09	0.08	0.03
3000	0.21	0.07	0.21	0.15	0.18	0.09
3100	0.29	0.16	0.30	0.28	0.27	0.17
3200	0.38	0.23	0.40	0.35	0.37	0.27
3300	0.50	0.33	0.50	0.43	0.44	0.36
3400	0.53	0.44	0.57	0.53	0.55	0.44
3500	0.70	0.53	0.67	0.65	0.66	0.55
3600	0.81	0.62	0.79	0.73	0.77	0.65
3700	0.90	0.75	0.90	0.84	0.87	0.75
3800	1.01	0.85	1.00	0.93	0.98	0.86
3900	1.12	0.95	1.10	1.08	1.10	0.97
4000	1.27	1.07	1.21	1.18	1.23	1.08
4200	1.48	1.34	1.48	1.42	1.46	1.33
4400	1.78	1.56	1.73	1.70	1.73	1.58
4600	2.07	1.84	2.04	1.96	2.00	1.87
4800	2.33	2.12	2.31	2.23	2.30	2.14
5000	2.70	2.43	2.7	2.70	2.7	2.6
5200	3.00	2.8	3.0	3.0	3.0	2.9
5500	3.50	3.3	3.6	3.5	3.6	3.4
6000	4.5	4.4	4.6	4.5	4.6	4.4
6500	5.7	5.4	5.7	5.6	5.6	5.4
7000	6.8	6.6	6.8	6.8	6.8	6.6
7500	8.2	7.9	8.1	8.1	8.1	7.9
8000	9.7	9.3	9.6	9.5	9.5	9.3
8500	11.2	10.8	11.0	11.0	11.1	10.8
9000	12.8	12.4	12.9	12.7	12.8	12.5
9500	14.7	14.4	14.7	14.5	14.8	14.2
10000	16.7	16.3	16.6	16.7	16.8	16.3
10500	19.1	18.6	19.0	18.8	19.0	18.6
11000	21.5	20.7	21.2	21.2	21.2	21.1
12000	23.8	23.6	23.6	23.7	23.7	23.8
13000	28	28	28	28	28	28
14000	31	34	35	30	31	32
15000	49	61	57	58	52	59
16000	58	72	70	71	67	70
17000	77	84	88	81	82	89
2800 V	2900	2800	2900	2800	2900	2800
14400	14200	14100	14300	14300	14100	14100

第4表 コロナ電圧電流特性

印加電壓 V	供試端	コ ロ ナ 電 流 (μA) 針端正					
		A	B	C	D	E	F
2100 V		0.19	0	0	0	0	0
2200		0.23	0	0	0	0	0
2300		0.35	0	0	0	0	0.01
2350		0.02	0	0.127	0.05	0	0.01
2400		0.42	0	0.12	0.08	0	0.01
2500		0.51	0.01	0.19	0.19	0.09	0.05
2600		0.62	0.02	0.24	0.25	0.15	0.15
2700		0.73	0.05	0.26	0.35	0.23	0.23
2800		0.84	0.14	0.37	0.49	0.34	0.39
2900		0.98	0.25	0.54	0.55	0.49	0.41
3000		1.08	0.18	0.76	0.63	0.62	0.60
3100		1.22	0.76	0.81	0.82	0.76	0.65
3200		1.39	0.90	0.98	0.98	0.93	0.92
3300		1.55	1.17	1.20	1.2	1.14	0.92
3400		1.60	1.33	1.30	1.3	1.22	1.11
3500		1.80	1.52	1.52	1.52	1.36	1.30
3600		1.99	1.69	1.68	1.69	1.58	1.50
3700		2.15	1.90	1.87	1.87	1.71	1.63
3800		2.39	2.12	2.06	2.07	1.96	1.85
3900		2.50	2.32	2.28	2.26	2.10	2.04
4000		2.78	2.56	2.50	2.50	2.28	2.23
4200		3.26	2.94	2.94	2.94	2.70	2.61
4500		4.00	3.80	3.64	3.64	3.34	3.28
5000		5.30	5.00	4.80	4.90	4.4	4.75
5500		6.8	6.50	6.6	6.6	5.6	6.25
6000		8.6	8.20	8.3	8.2	7.7	7.0
6500		10.7	10.3	10.4	10.3	9.7	7.7
7000		13.0	12.5	12.8	12.5	12.2	11.9
7500		15.5	15.2	15.1	15.1	14.7	14.7
8000		18.2	18.0	17.9	17.7	17.6	17.3
8500		21.0	20.7	20.9	20.7	20.2	20.0
9000		24.5	24.1	24.2	24.1	23.5	23.6
9500		28.5	28.6	28.4	28.4	28.1	28.1
10000		32.5	31.5	31.6	31.3	31.2	30.4
11000		41.0	40.4	40.6	40.4	39.5	39.6
12000		50.0	50.0	50.0	49.5	49.2	50.0
13000		62.0	62.0	62.0	61.0	60.1	62.0
14000		74.0	74.0	74.2	74.0	74.0	74.0
15000		87.5	88.0	89.0	88.0	88.0	88.0
16000		102	103.5	104	103	103	103
18000		136	140	140	136	138	139
20000		174	176	176	172	172	176
22000		212	210	213	212	212	215
24000		260	261	263	258	260	260
26000		328	320	323	320	320	325
28000		400	393	392	400	390	390
29000		445	440	440	440	440	440
e <sub>o</sub>	2100V 29000	2500 29000	2350 29300	2300 29000	2400 29000	2300 29000	

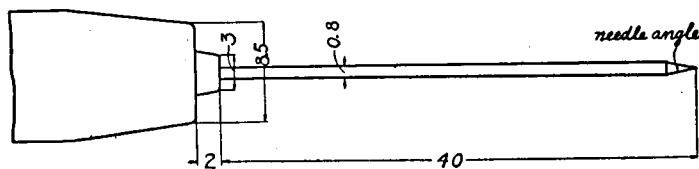


### 附錄 III. 種々なる針端角度に於ける針端コロナ 電壓電流特性曲線に関する實驗結果

本附錄は本文第 V 節に於て述べたる種々なる針端角度に於ける針端コロナ電壓電流特性に関する實驗結果を詳記したもので、本文の實驗部分に對する補遺とす。

#### 1. 針端角が針電極の先のみにて構成される場合

此場合使用せる電極の詳細圖は第4圖に示す。



第4圖 針端電極

##### (i) 針端負の場合の放電特性

針端負の場合に就て種々の間隙距離の下に針端角度を變へ其電壓電流特性曲線を求めた。實驗結果を表示すれば第7表に示す如く、又之れを圖示すれば第7圖乃至第35圖を得。圖中  $e_v$  はコロナ開始電壓、 $e_s$  は火花電壓、 $e_d$  はコロナの過程なくして火花となつた場合の火花電壓、を指示するものとす。

##### (ii) 針端正の場合の放電特性

針端正の場合に就て種々の間隙距離の下に針端角度を變へ其電壓電流特性曲線を求めた。實驗結果を示せば第8表並に第36圖乃至第86圖の如し。

#### 2. 尖端角が電極の全體を構成する場合

使用電極の數例を第5圖に示す。

茲に問題となるのは圓錐先端の尖鋭度である。前節の如き針端角が針電極の先端のみにて構成されるが如き場合には、例へば第6圖 A の如く尖端を可成り精細に尖鋭化し得るが、電極全體が尖端角を形成する本節の場合には工作上尖端の尖鋭化は甚だ困難となりて第6圖 B,C に例示した程度に止り眞の尖鋭化をなし得ない。従て是等の不尖鋭の程度が  $e_v$ ,  $e_s$ ,  $e_d$  等に及ぶ影響も閑却する事は出来ないと思はる。併し充分注意して工作するも第6圖 A の如き尖鋭針端を得るは事實上不可能なるを以て第6圖 B,C の尖鋭程度の電極にて實驗を遂行した。併し工學上充分實用價值ある  $D_{ca}$  を與へるものと信ず。

##### (i) 尖端負の場合の放電特性

尖端負の場合に就て各種間隙距離の下に尖端角度を變へ電壓電流特性曲線を求めた。實驗結果を示せば第9表並に第90圖乃至第118圖となる。

##### (ii) 尖端正の場合の放電特性

尖端正の場合に就て各種間隙距離の下に尖端角度を變へ電壓電流特性曲線を求めた。實驗結果は第10表並に第119圖乃至第163圖に示さる。

第7表

間隙距離	2m.m.	4	6	8	10	15	20
9°	第7圖	15	21	28	33	—	—
11	—	—	—	—	—	34	35
15	—	8	16	22	29	33	34
30	—	9	17	23	—	33	34
31	—	—	—	—	—	—	35
35	—	—	—	30	—	—	—
40	10	18	24	—	—	34	35
43	—	—	—	—	33	—	—
50	11	—	25	31	—	34	—
60	12	—	—	—	—	—	—
65	—	19	—	—	33	—	35
70	13	—	26	32	—	34	—
80	—	20	—	—	—	—	—
85	—	—	—	—	33	—	—
90	14	—	27	32	—	—	35
95	—	—	—	—	—	34	—

針端負放電特性曲線圖見出表

第8表

間隙距離	2m.m.	4	6	8	10	15	20
10°	第36圖	—	—	—	64	—	79
11	—	42	—	57	—	71	—
12	—	—	50	—	—	—	—
15	37	—	—	—	—	—	—
20	38	43	51	58	65	72	80
30	39	44	52	59	66	73	81
40	—	45	—	—	—	74	82
41	—	—	53	—	—	—	—
42	40	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	—	67	—	—
45	—	—	—	69	—	—	—
50	41	46	—	—	—	75	83
53	—	—	—	—	63	—	—
55	—	—	54	—	—	—	—
60	—	47	—	61	—	76	84
63	—	—	55	—	—	—	—
70	—	—	—	—	—	77	85
72	—	—	—	62	69	—	—
75	—	48	—	—	—	—	—
80	—	—	—	—	—	78	—
83	—	49	—	—	—	—	—
85	—	—	56	63	70	—	86

針端正放電特性曲線圖見出表

第9表

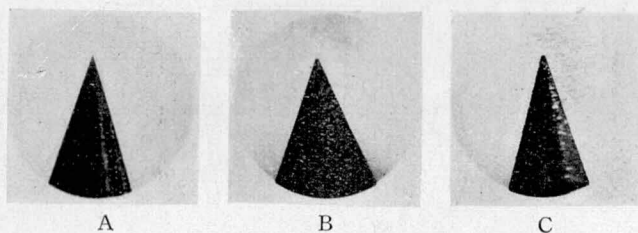
間隙距離	2m.m.	4	6	8	10	15	20
5°	第90圖	98	106	115	116	117	118
10	91	99	107	115	116	117	118
10	92	100	108	115	116	117	118
30	93	101	109	115	116	117	118
40	94	102	110	115	116	117	118
50	95	103	111	115	116	117	118
60	96	104	112	115	116	117	118
80	97	105	113	115	116	117	118
100	97	105	114	115	116	117	118
120	97	105	114	115	116	117	118
140	97	105	114	115	116	117	118
150	97	105	114	115	116	117	118
160	97	105	114	115	116	117	118
170	—	—	—	—	—	—	—

尖端負放電特性曲線見出表

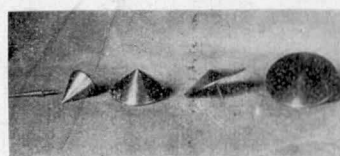
第10表

間隙距離	2m.m.	4	6	8	10	15	20
5°	第119圖	121	126	133	140	147	155
10	120	122	127	134	141	148	156
20	120	123	128	135	142	149	157
30	120	124	129	136	143	150	158
40	120	125	130	137	144	151	159
50	120	125	131	138	145	152	160
60	120	125	132	139	146	153	161
80	120	125	132	139	146	154	162
100	120	125	132	139	146	154	163
120	120	125	132	139	146	154	163
140	120	125	132	139	146	154	163
150	120	125	132	139	146	154	163
160	120	125	132	139	146	154	163
170	120	125	132	139	146	154	—

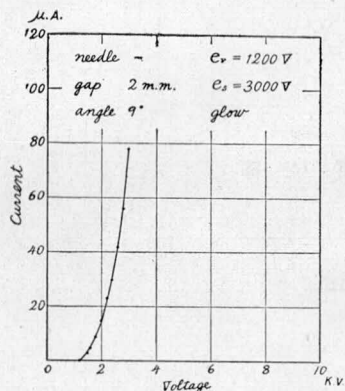
尖端正放電特性曲線見出表



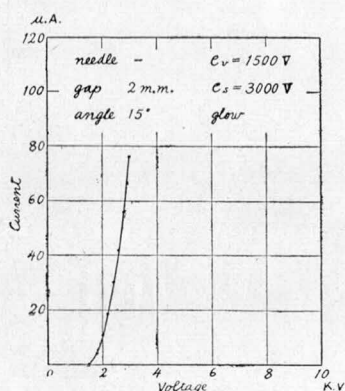
第6圖 尖端の例 (寸法は本文第6圖に同じ)



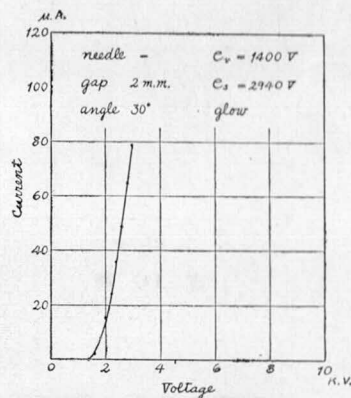
第5圖 圓錐形電極例



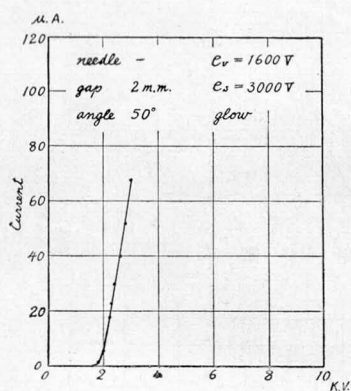
第7圖



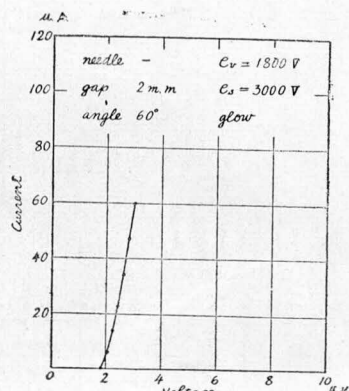
第8圖



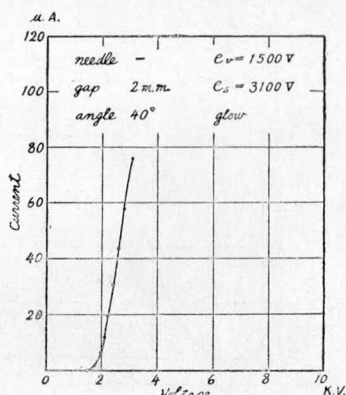
第9圖



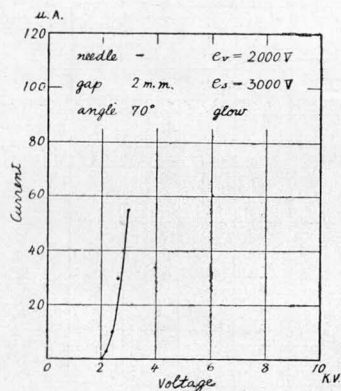
第11圖



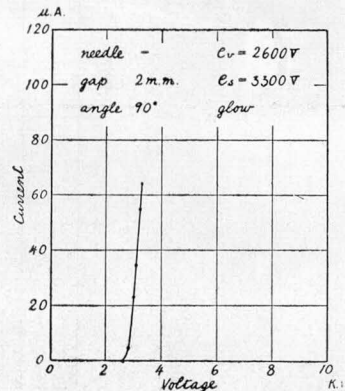
第12圖



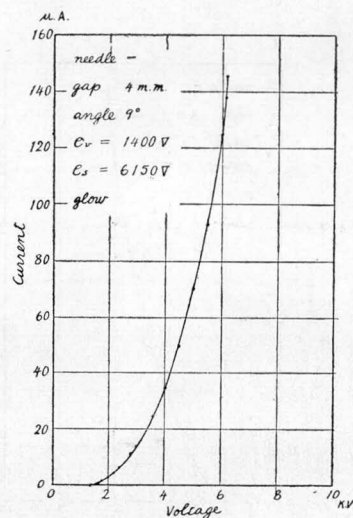
第10圖



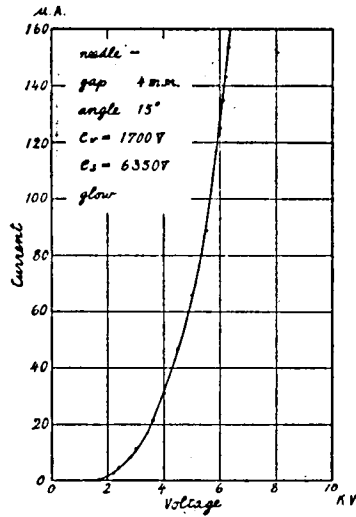
第13圖



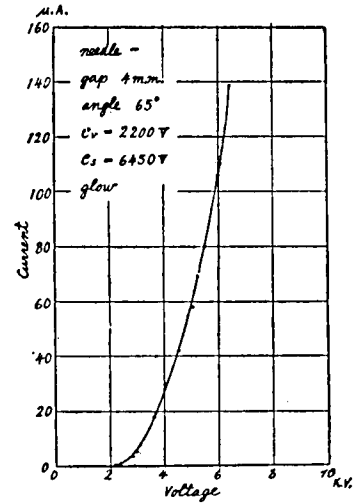
第14圖



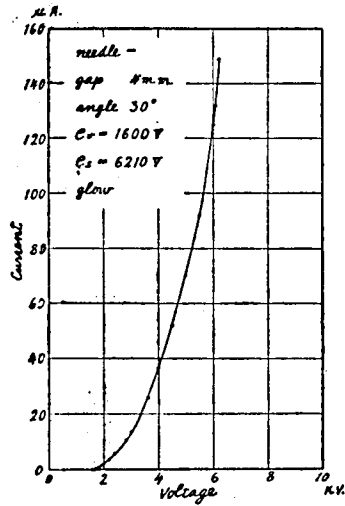
第15圖



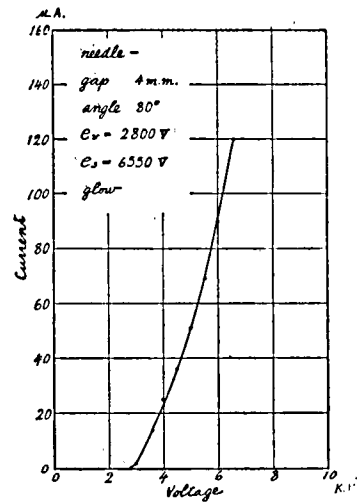
第 16 圖



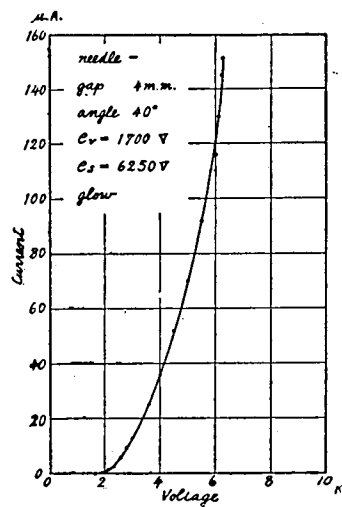
第 19 圖



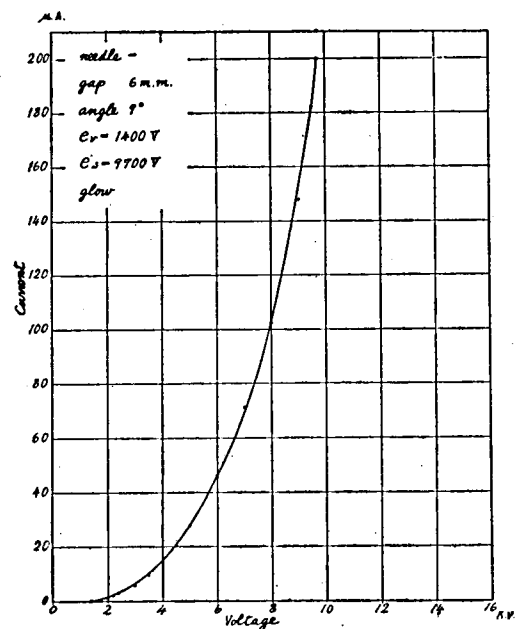
第 17 圖



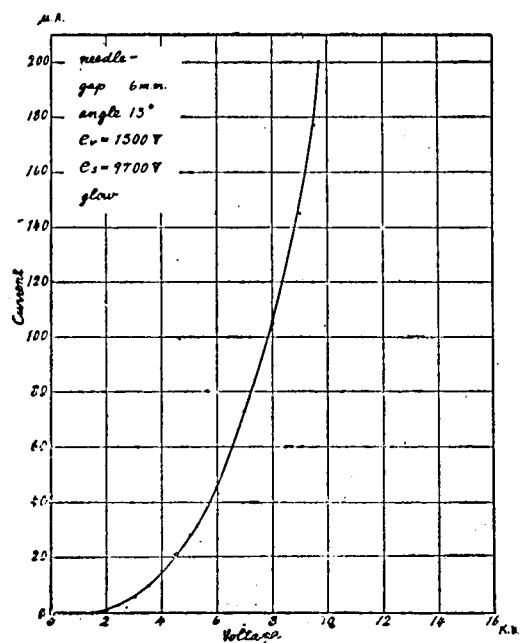
第 20 圖



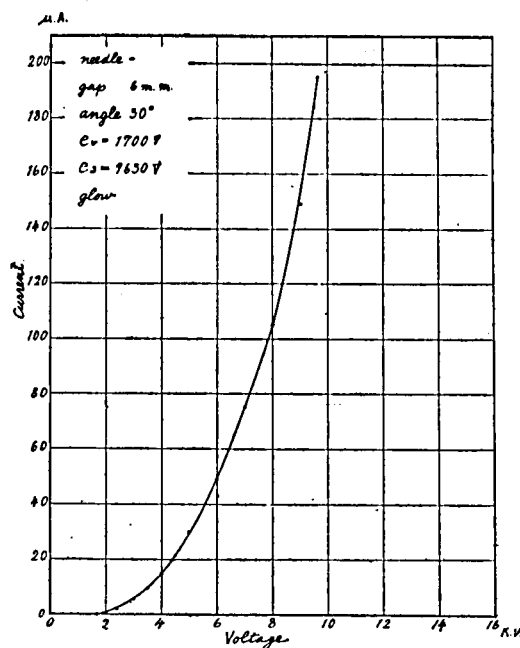
第 18 圖



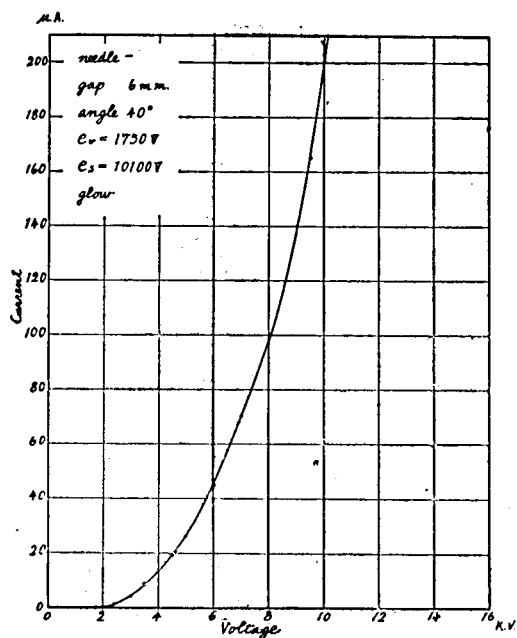
第 21 圖



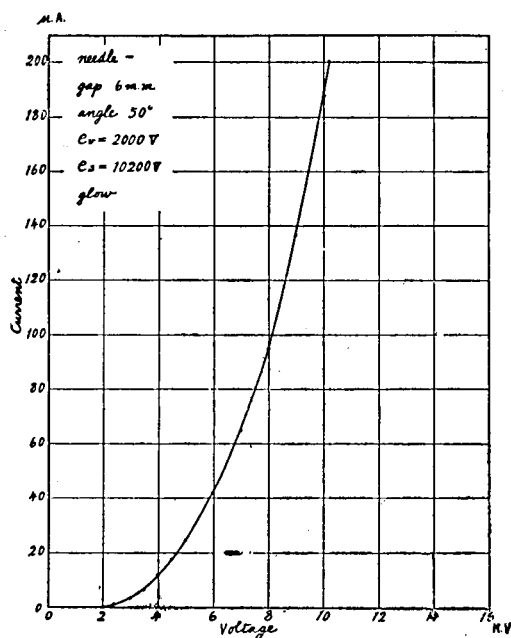
第 22 圖



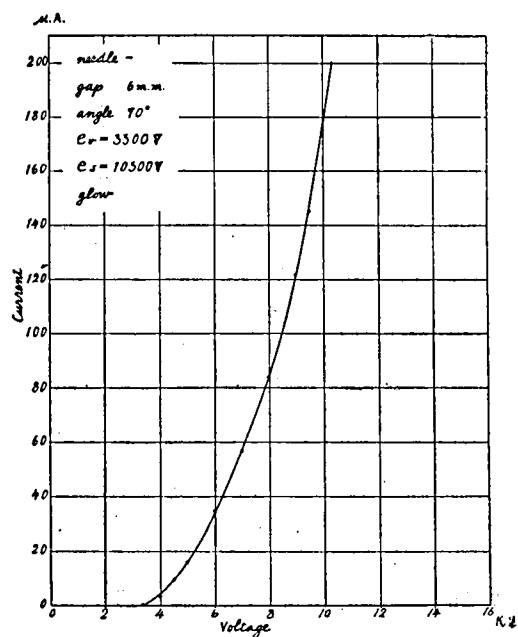
第 23 圖



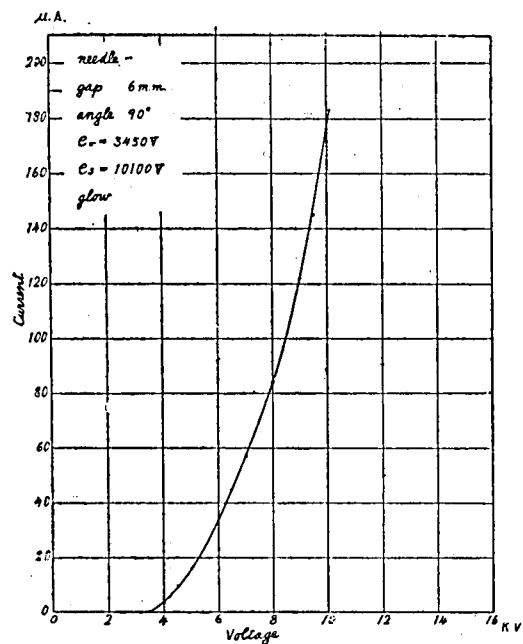
第 24 圖



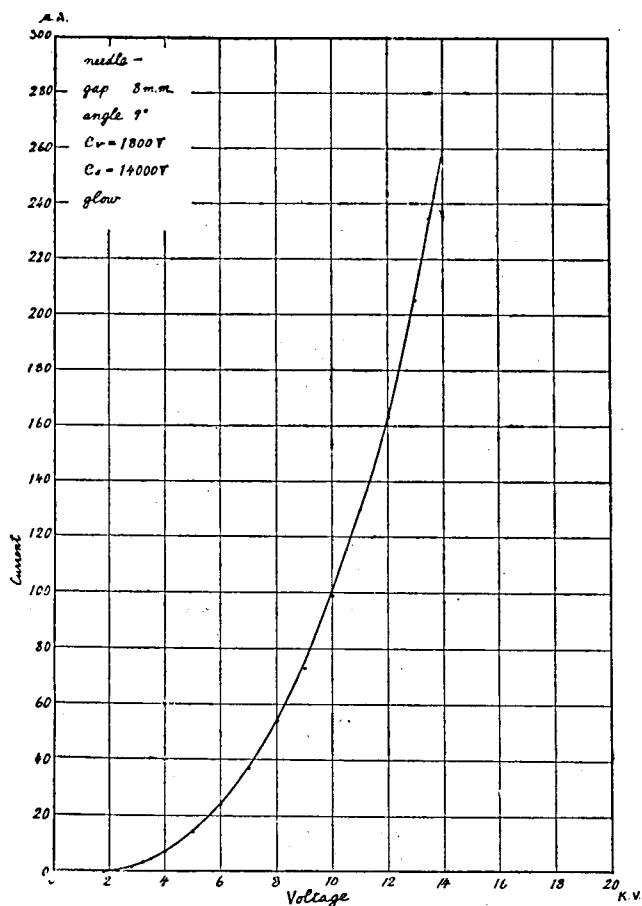
第 25 圖



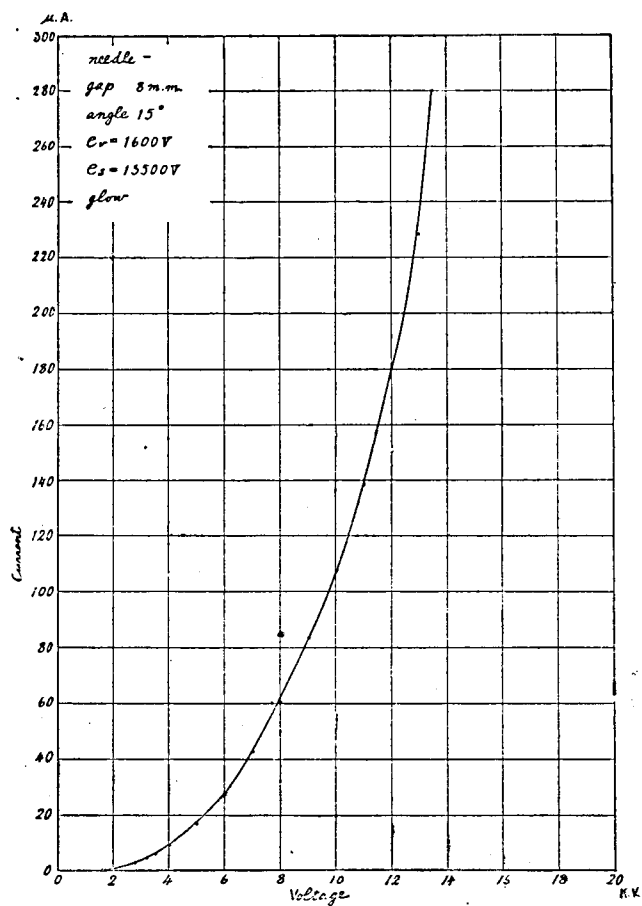
第 26 圖



第 27 圖

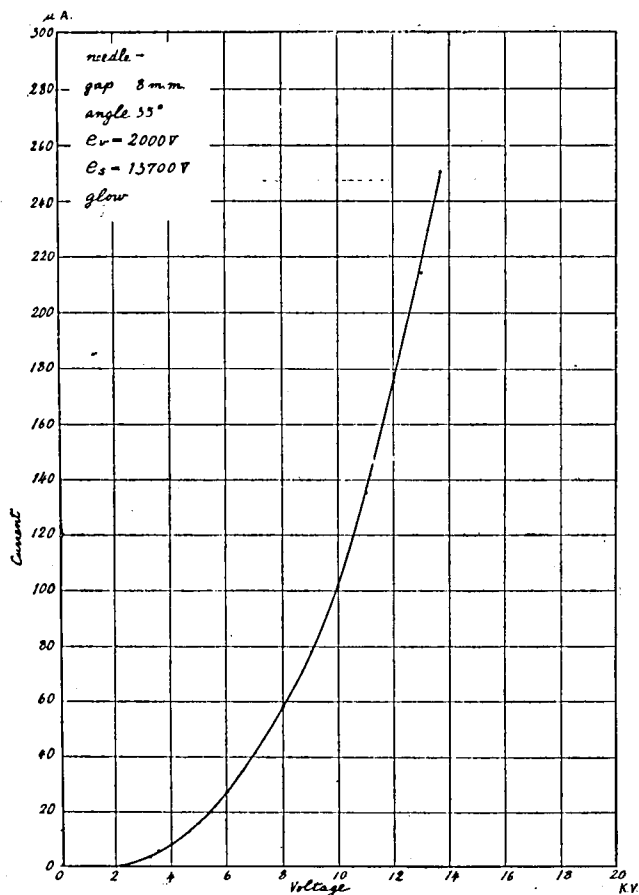


第 28 圖

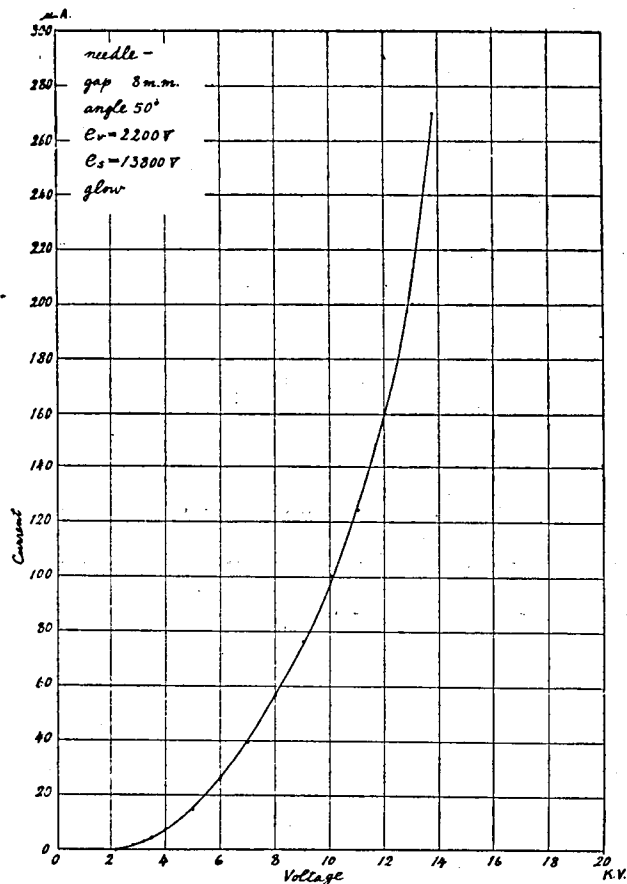


第 29 圖

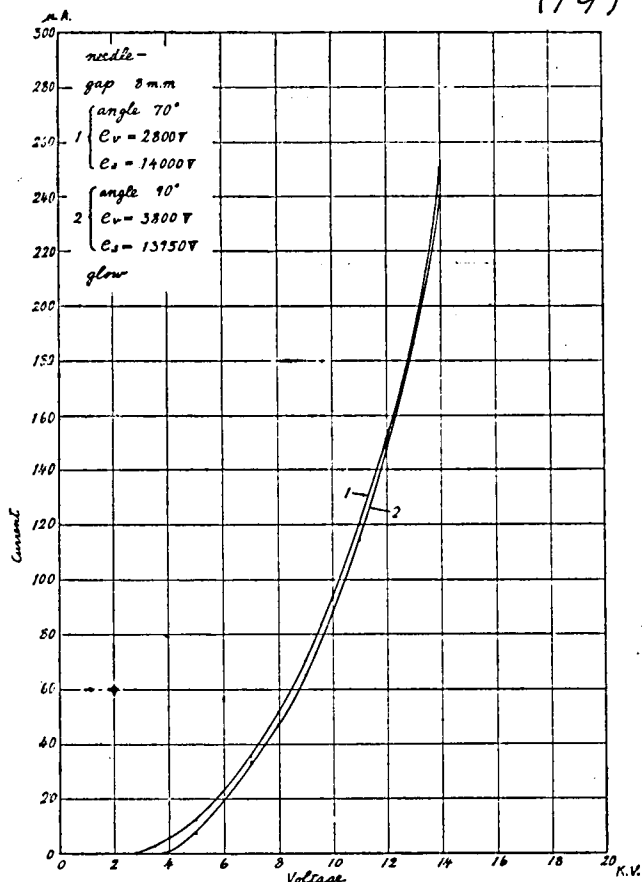
(附 8)



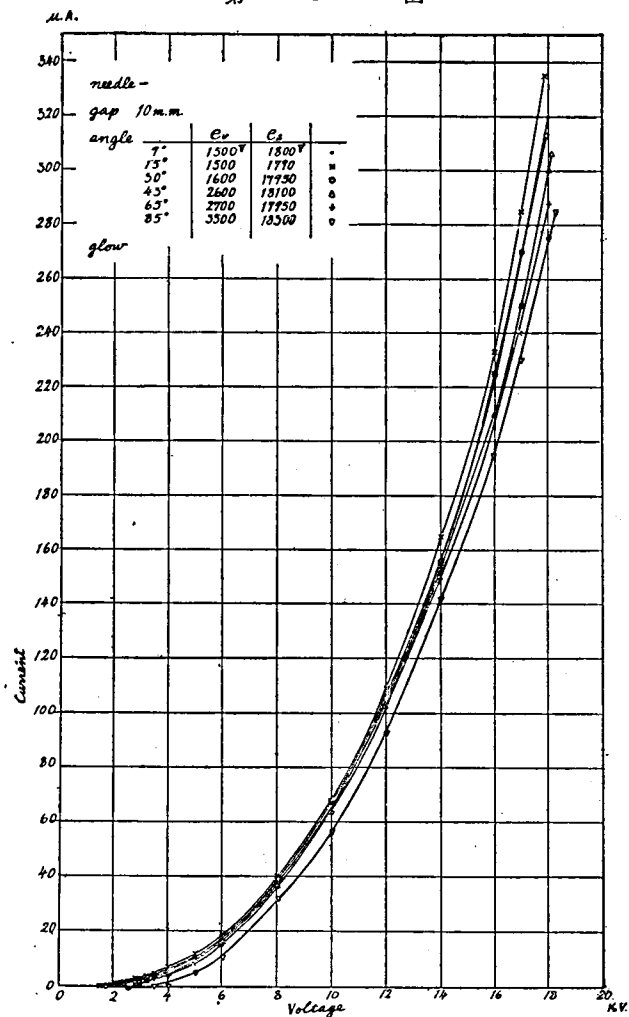
第 30 圖



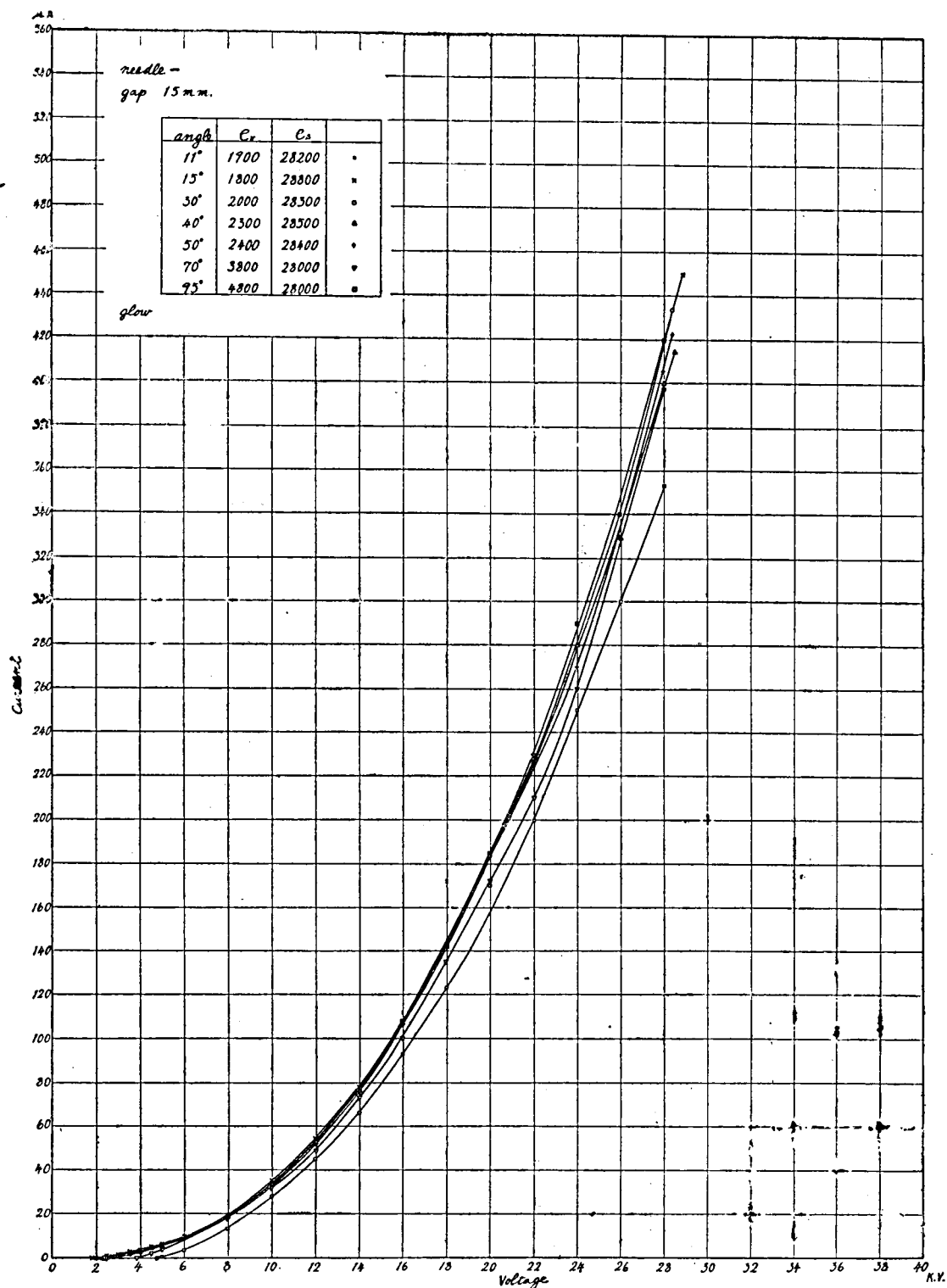
第 31 圖



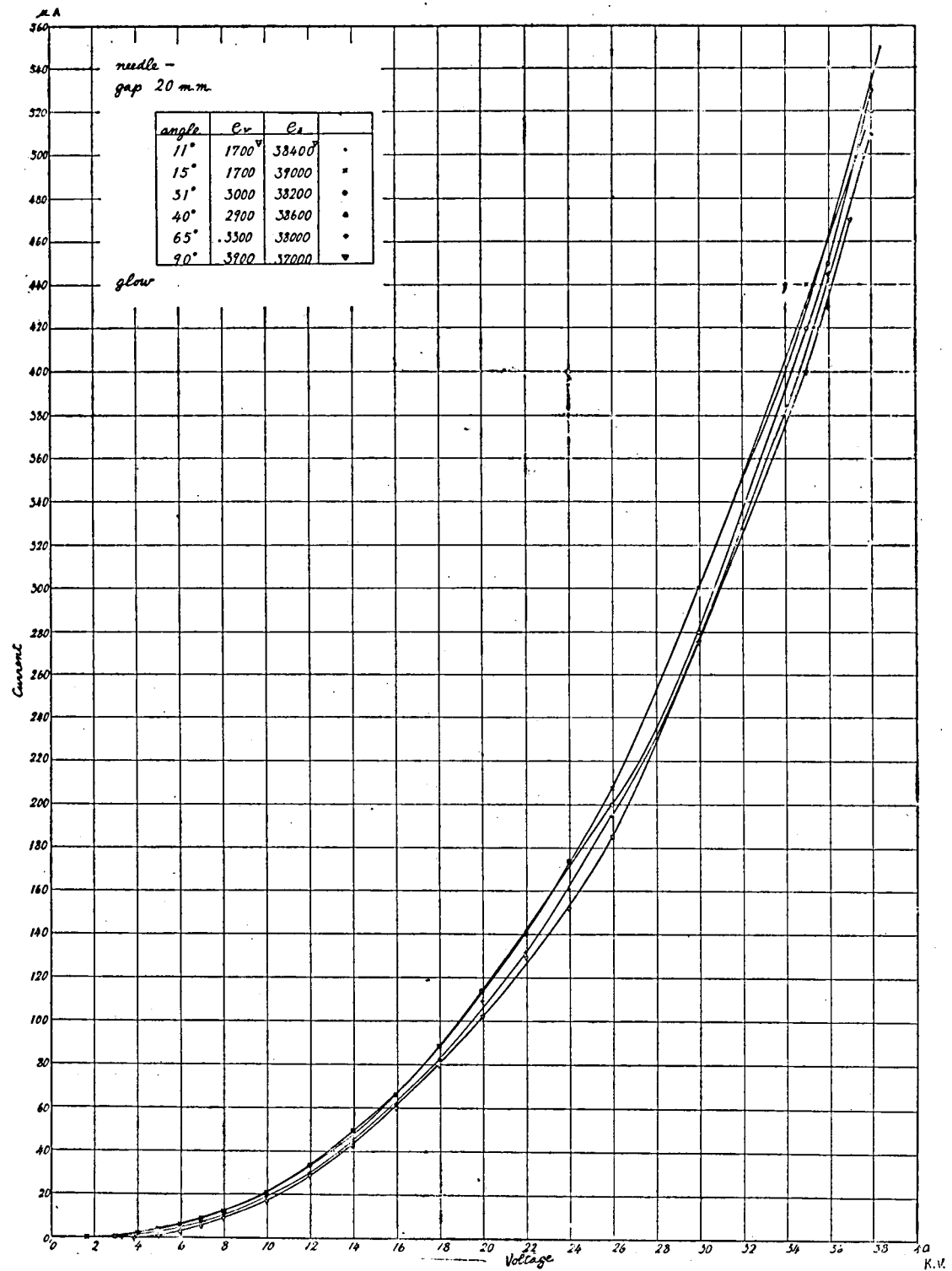
第 32 圖



第 33 圖

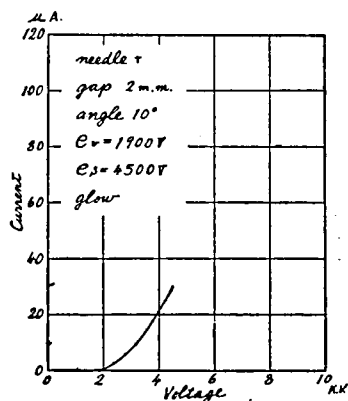


第 34 圖

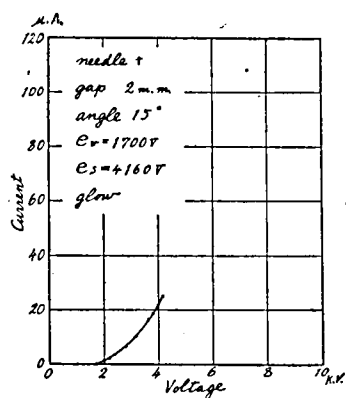


第 35 圖

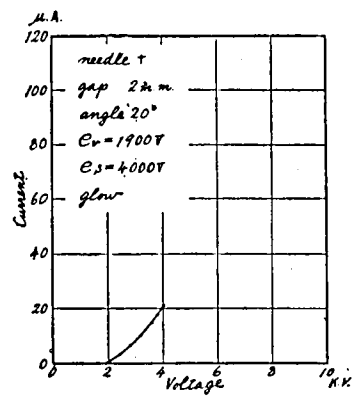




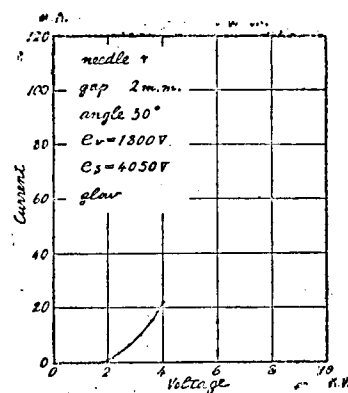
第 36 圖



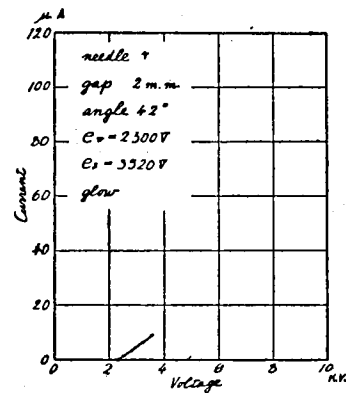
第 37 圖



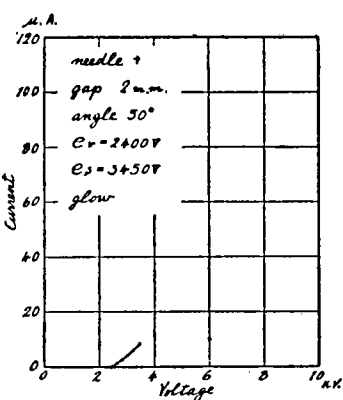
第 38 圖



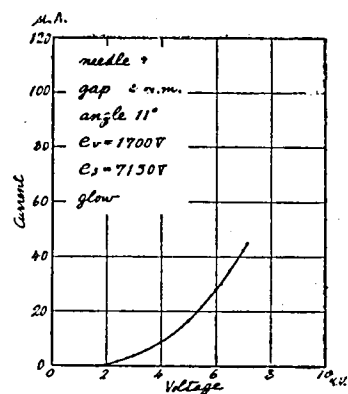
第 39 圖



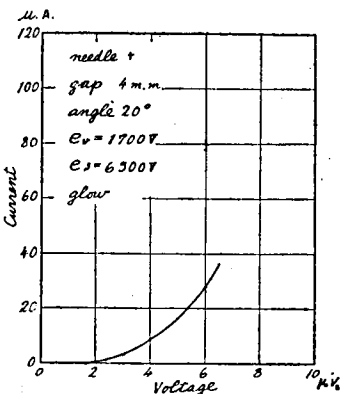
第 40 圖



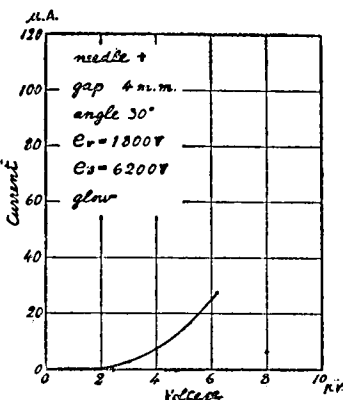
第 41 圖



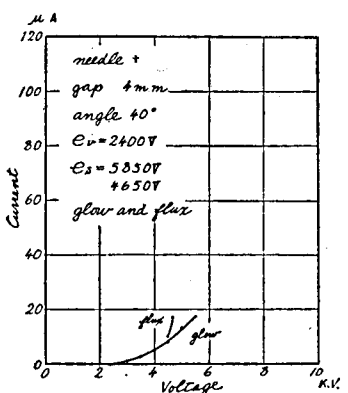
第 42 圖



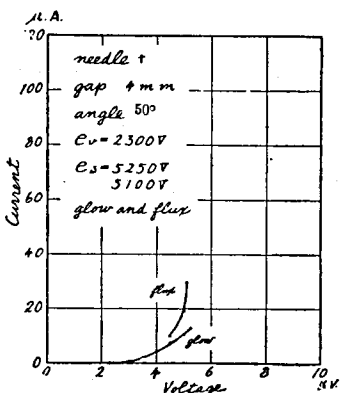
第 43 圖



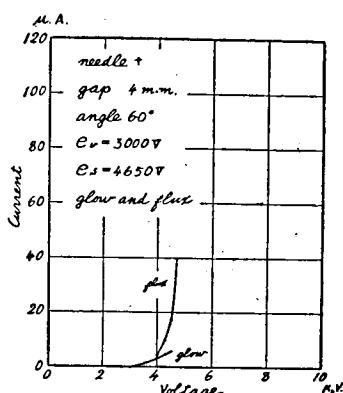
第 44 圖



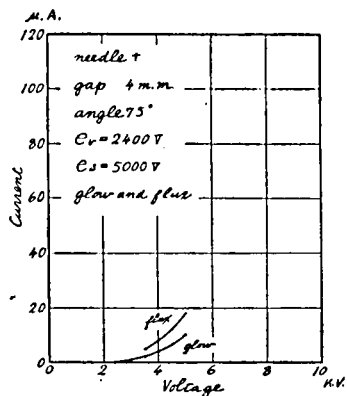
第 45 圖



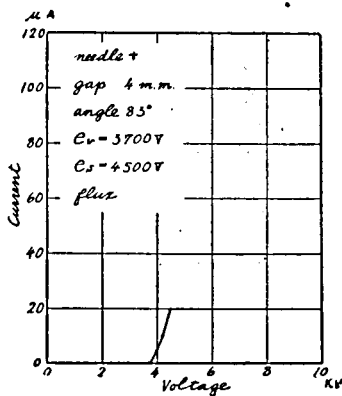
第 46 圖



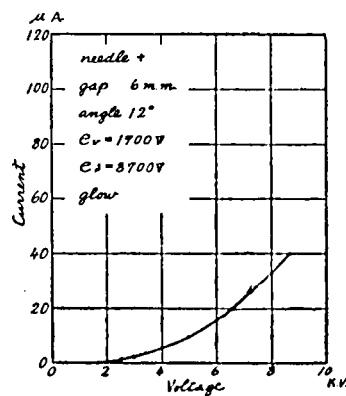
第 47 圖



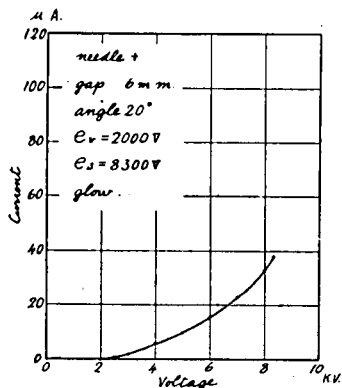
第 48 圖



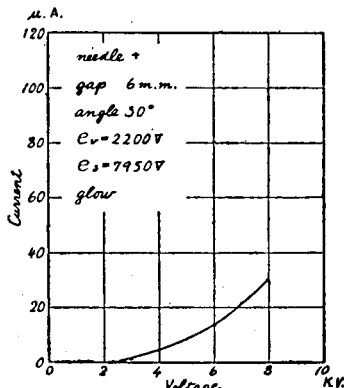
第 49 圖



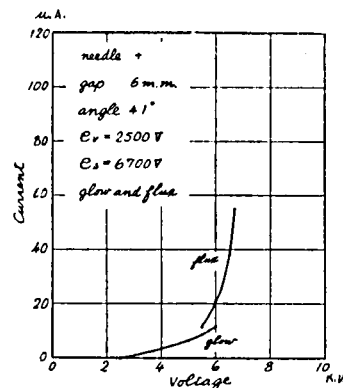
第 50 圖



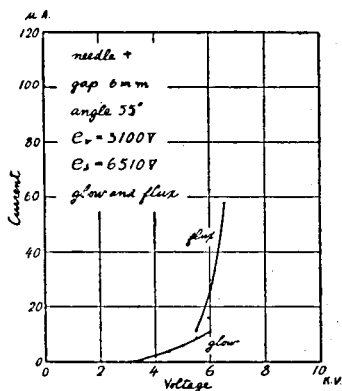
第 51 圖



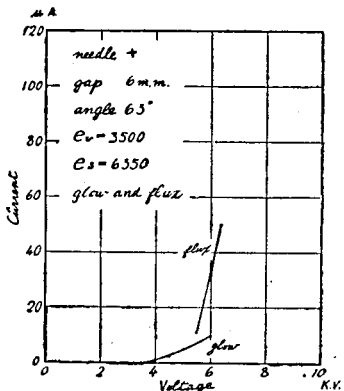
第 52 圖



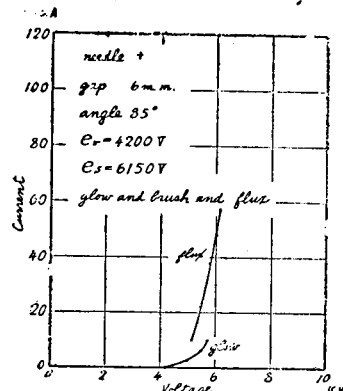
第 53 圖



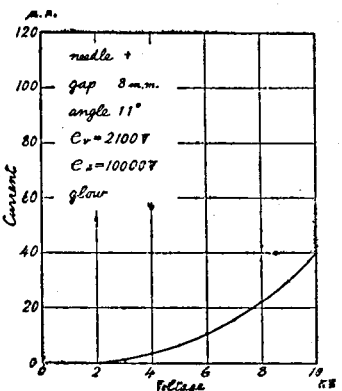
第 54 圖



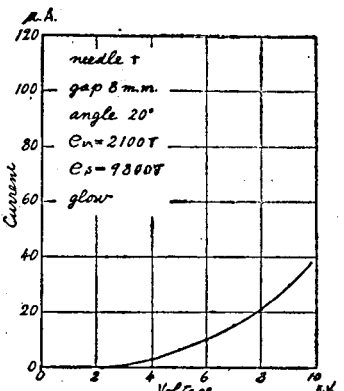
第 55 圖



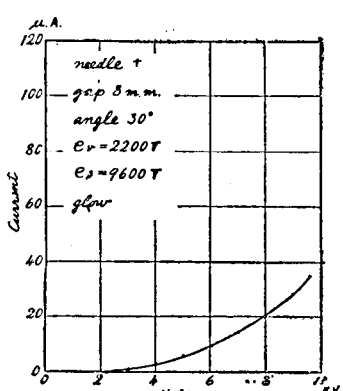
第 56 圖



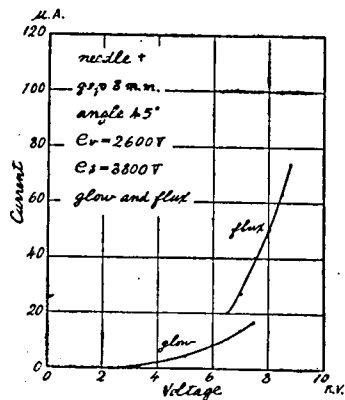
第 57 圖



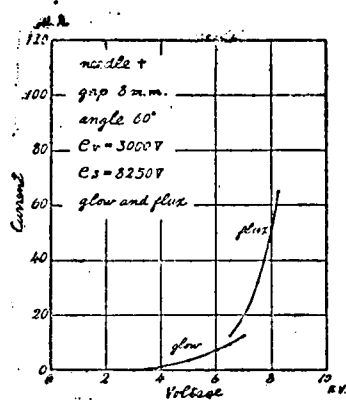
第 58 圖



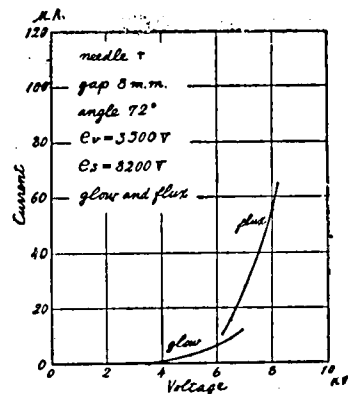
第 59 圖



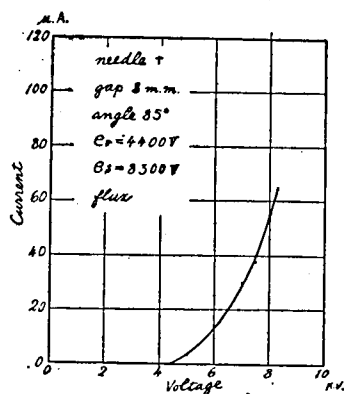
第 60 圖



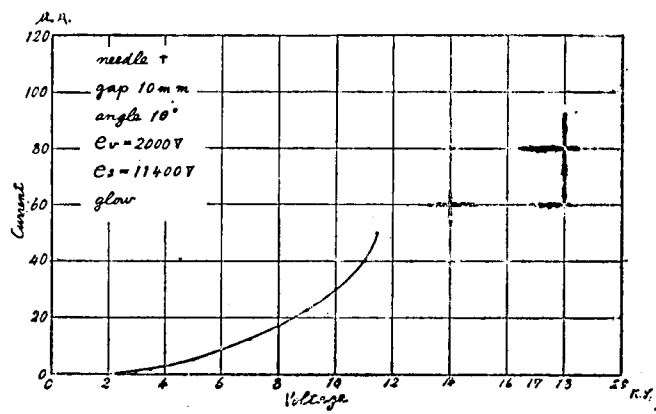
第 61 圖



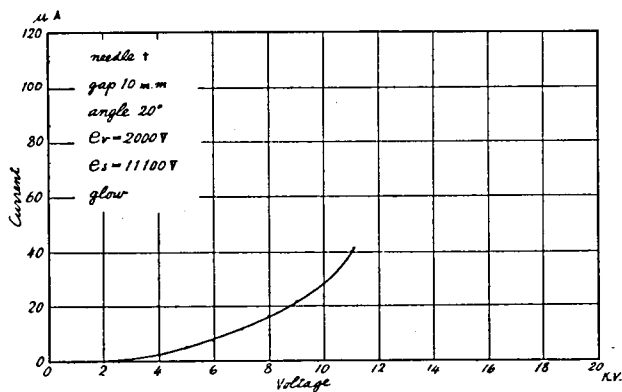
第 62 圖



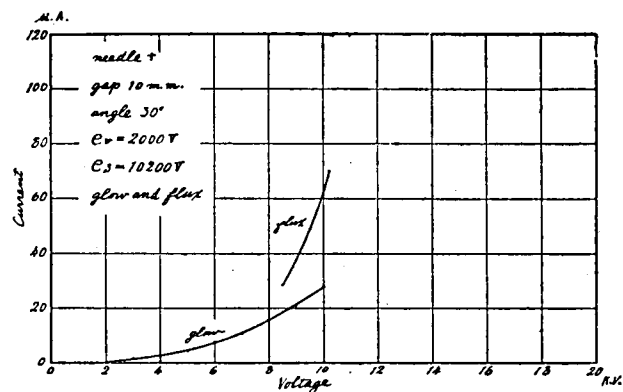
第 63 圖



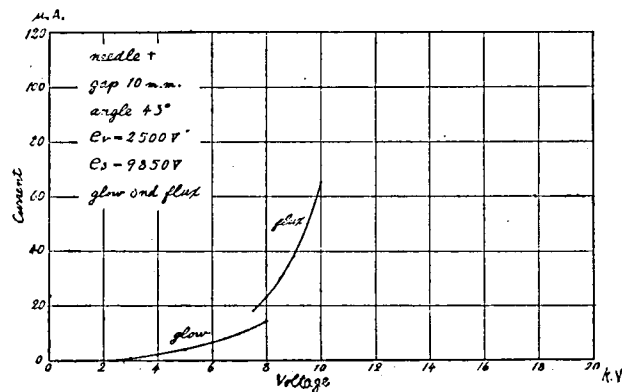
第 64 圖



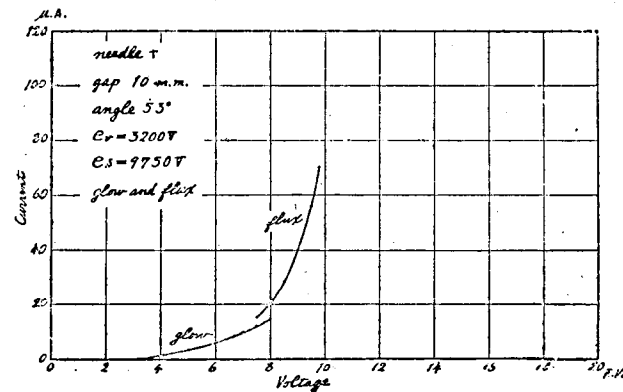
第 65 圖



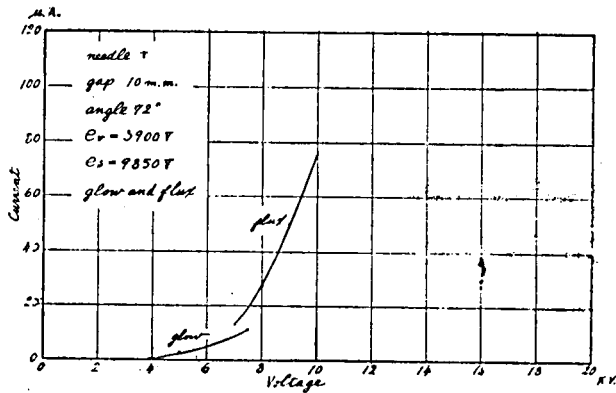
第 66 圖



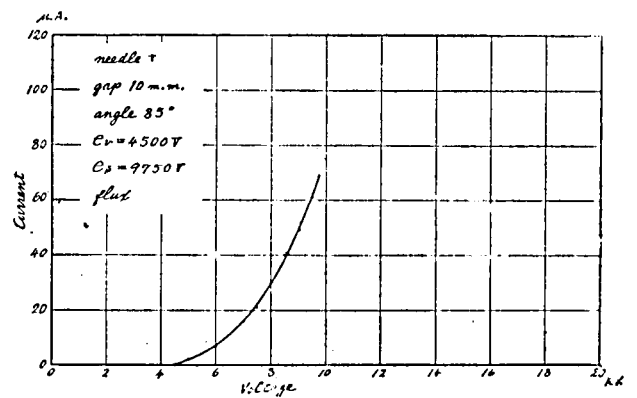
第 67 圖



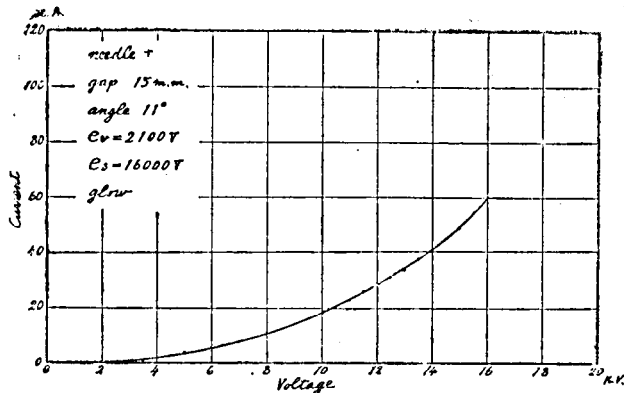
第 68 圖



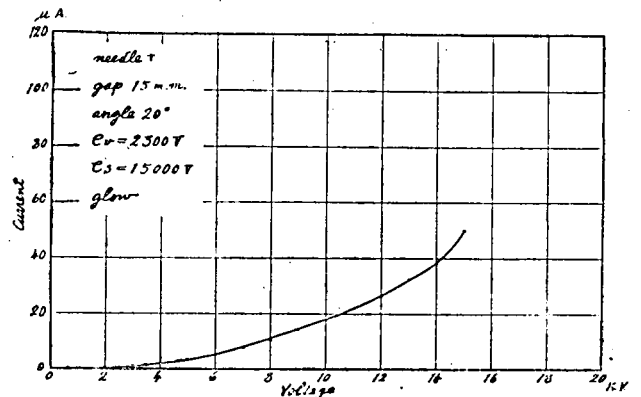
第 69 圖



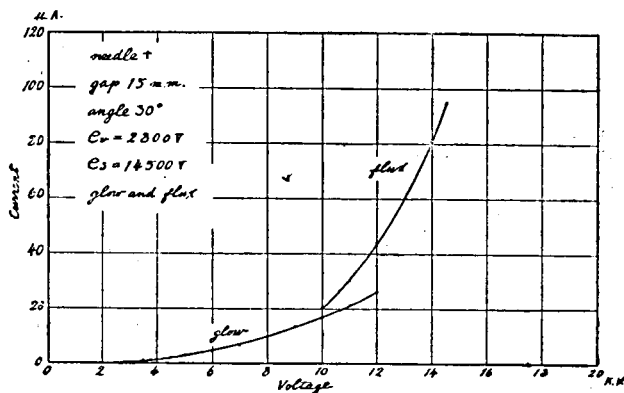
第 70 圖



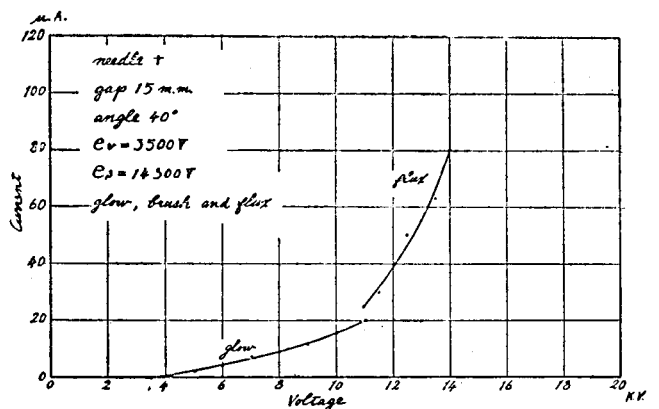
第 71 圖



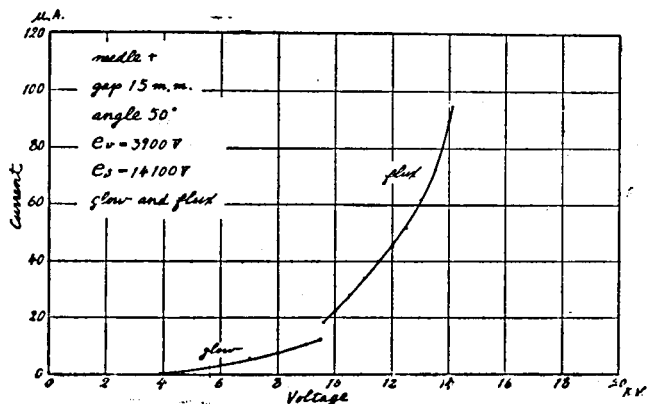
第 72 圖



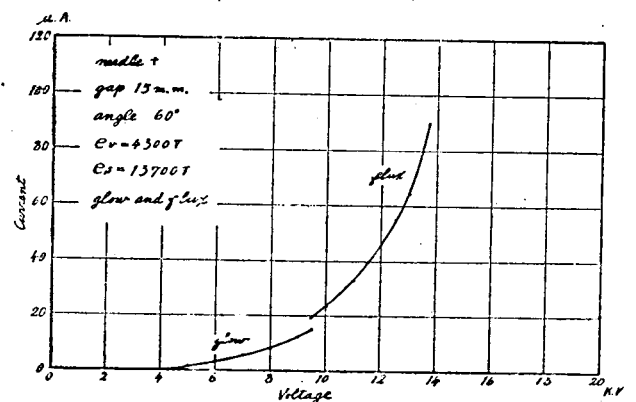
第 73 圖



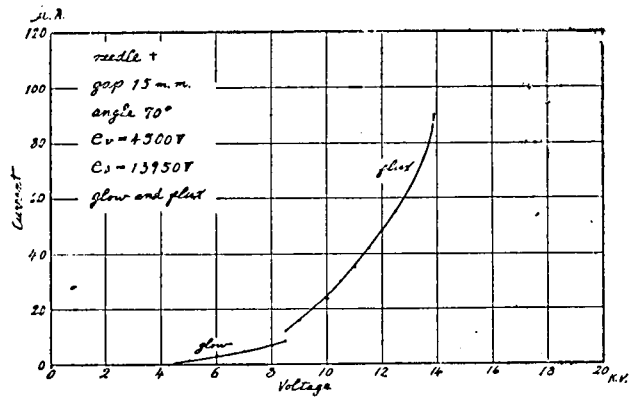
第 74 圖



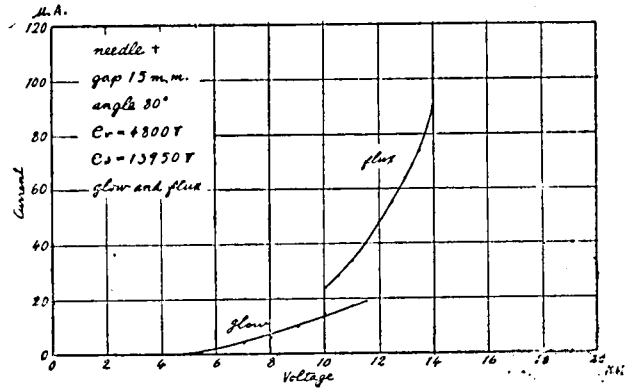
第 75 圖



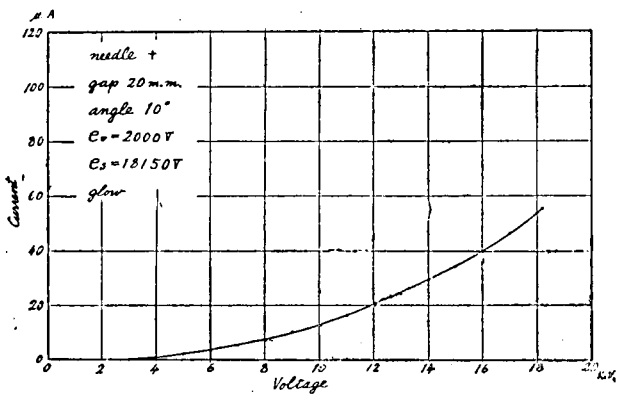
第 76 圖



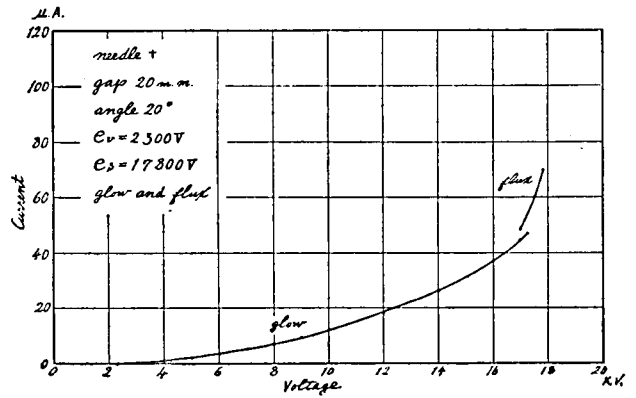
第 77 圖



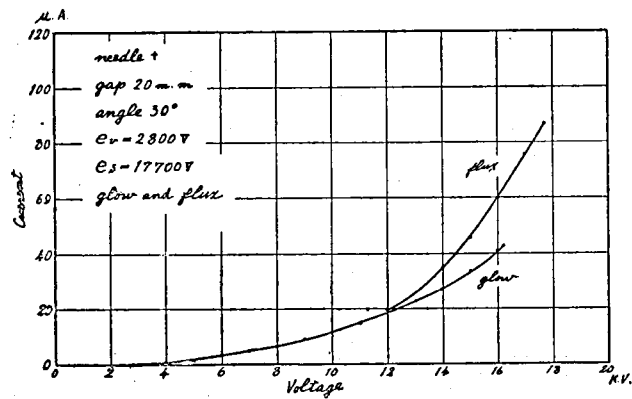
第 78 圖



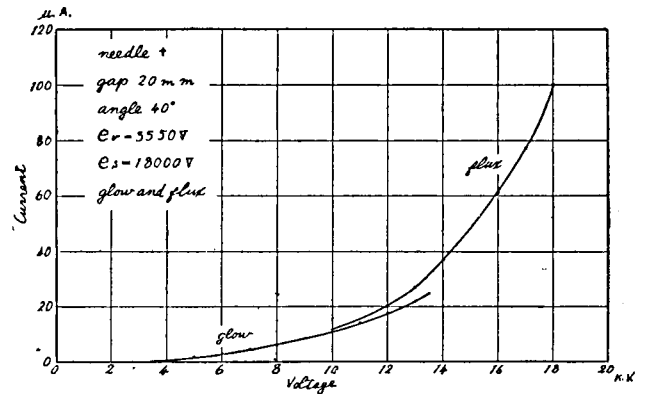
第 79 圖



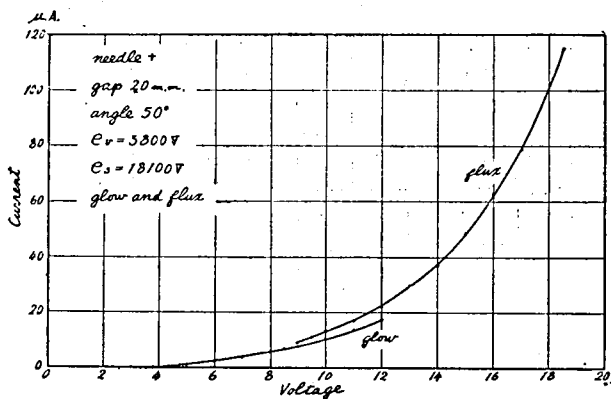
第 80 圖



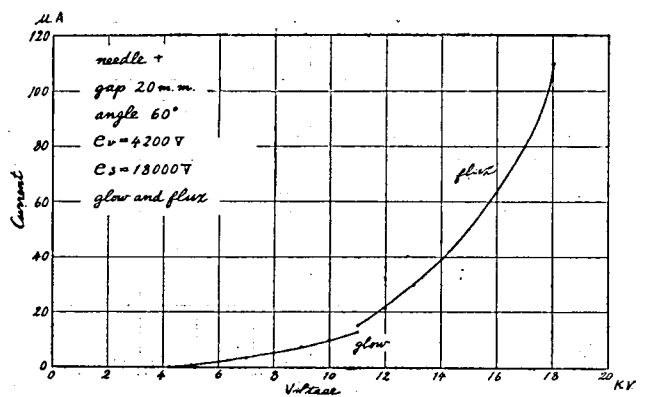
第 81 圖



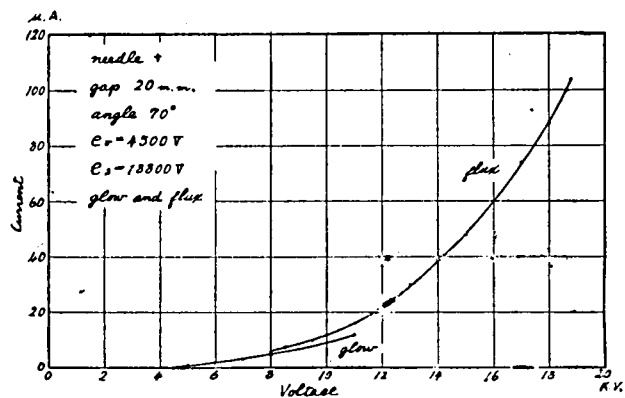
第 82 圖



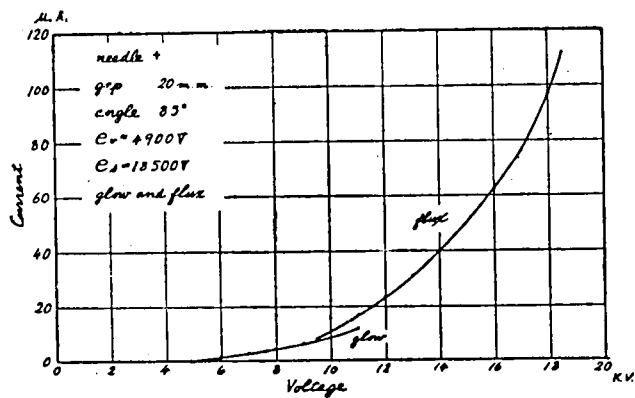
第 83 圖



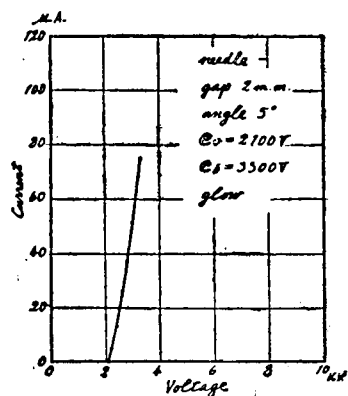
第 84 圖



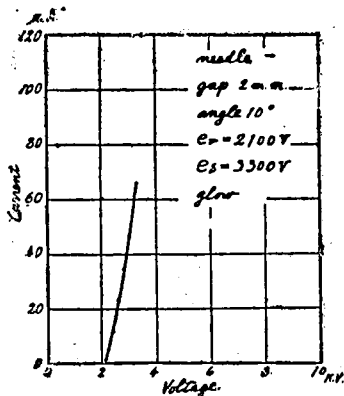
第 85 圖



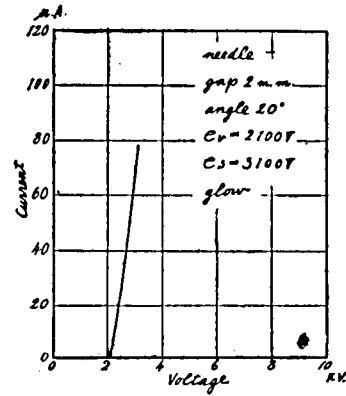
第 86 圖



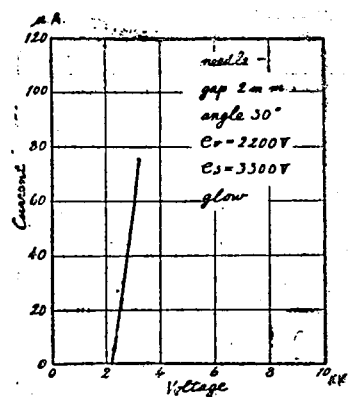
第 90 圖



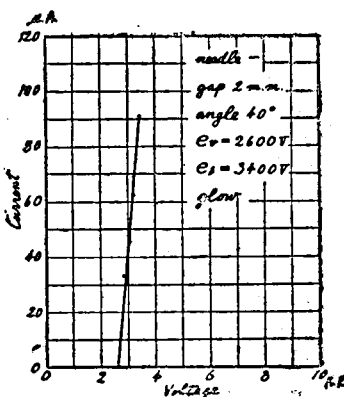
第 91 圖



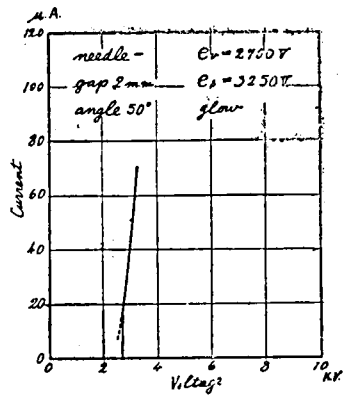
第 92 圖



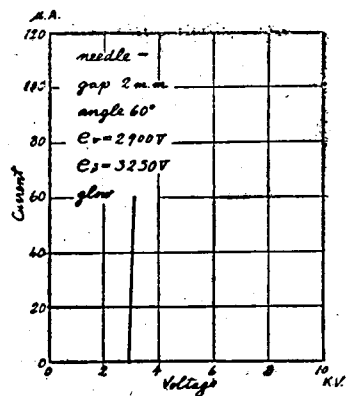
第 93 圖



第 94 圖



第 95 圖

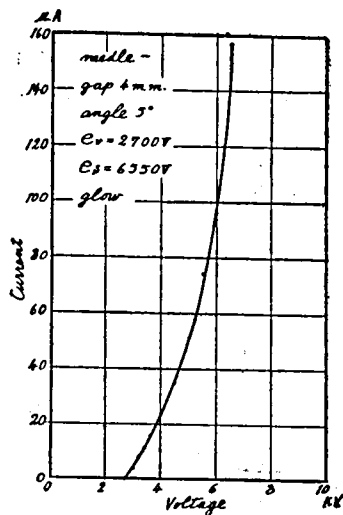


第 96 圖

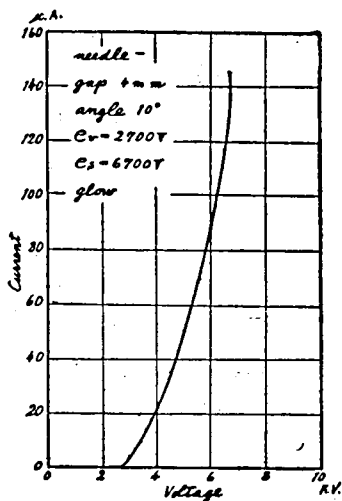
needle -  
gap 2 mm

angle	$C_d$
80°	3800
100	5000
120	5750
140	7700
150	8500
160	7700

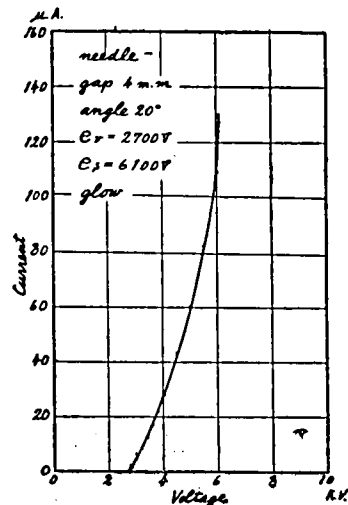
第 97 圖



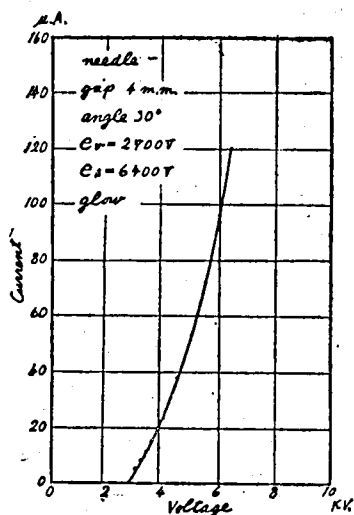
第 98 圖



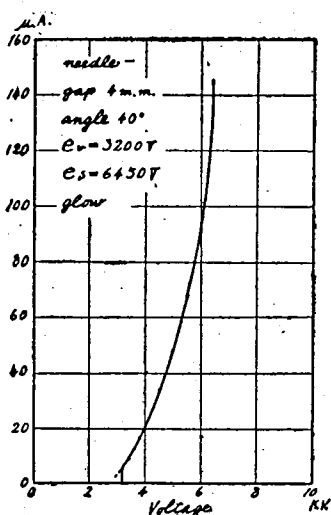
第 99 圖



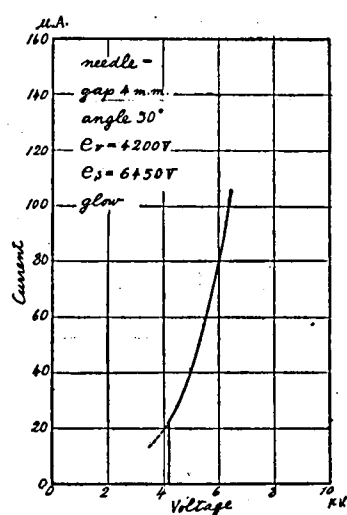
第 100 圖



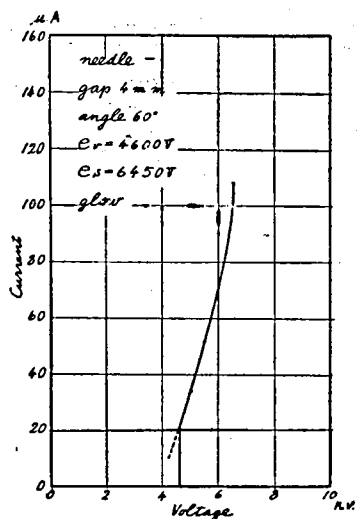
第 101 圖



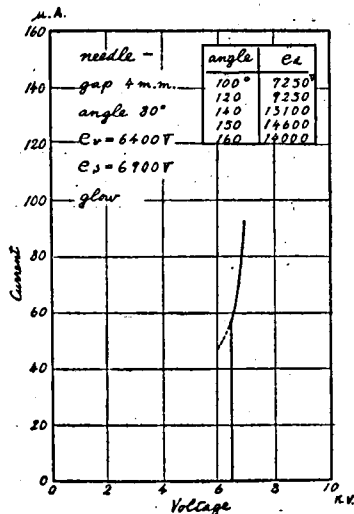
第 102 圖



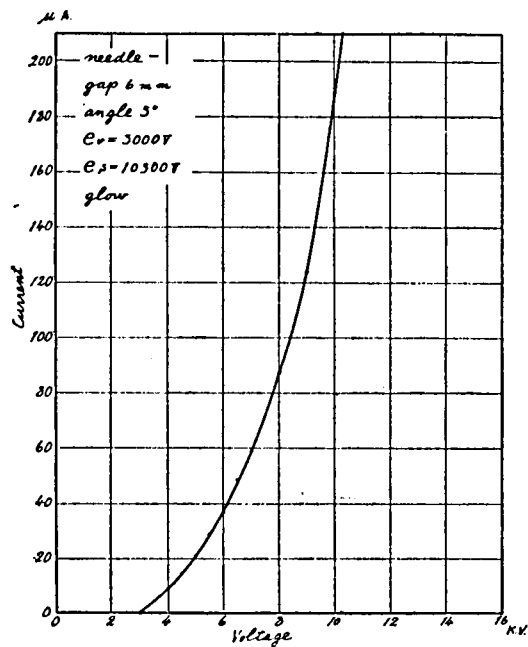
第 103 圖



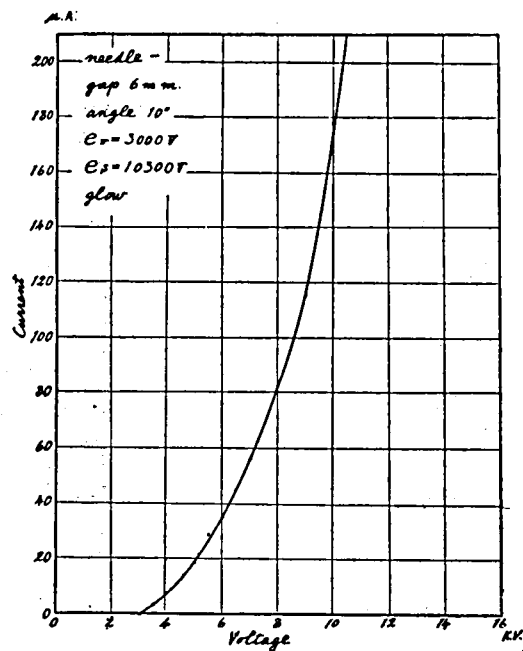
第 104 圖



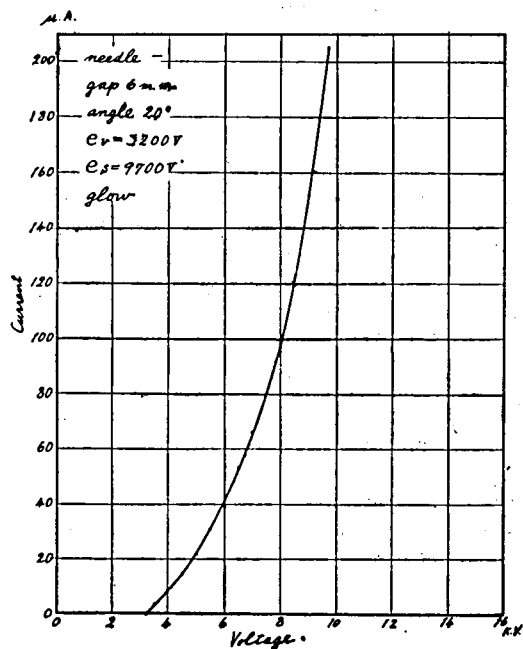
第 105 圖



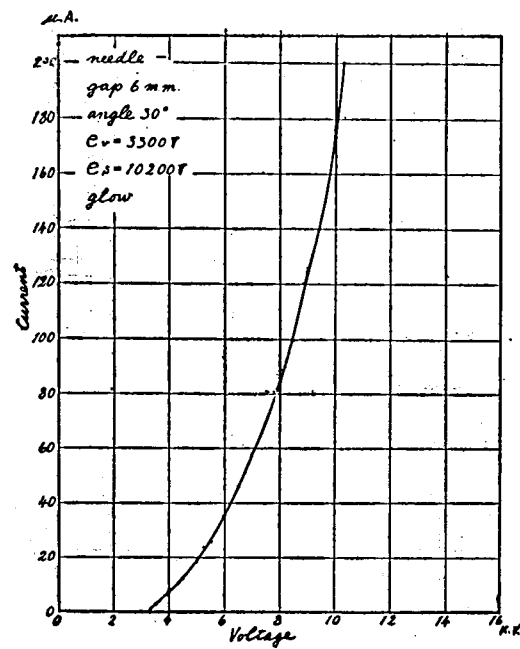
第 106 圖



第 107 圖

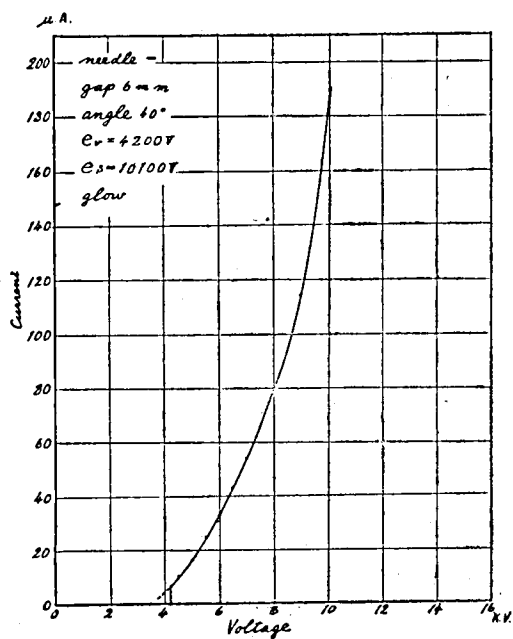


第 108 圖

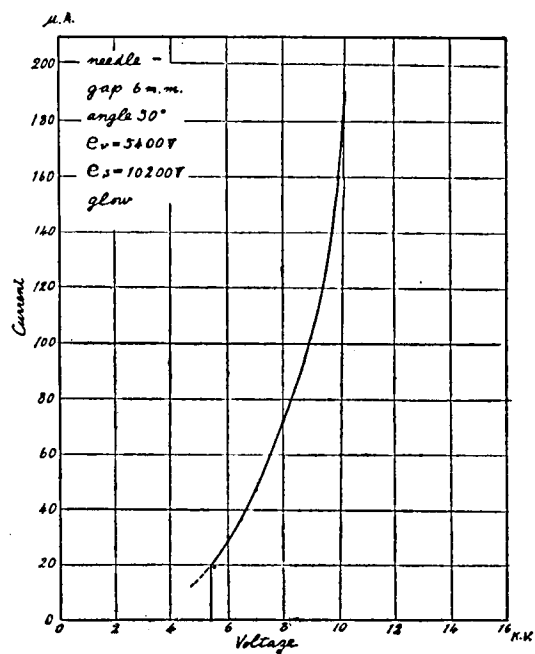


第 109 圖

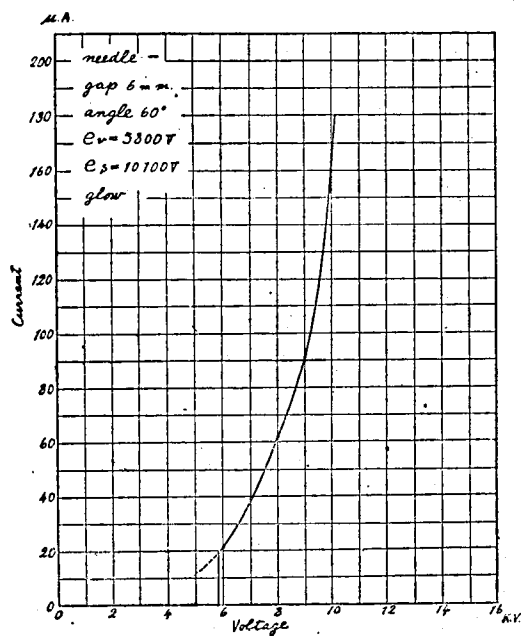




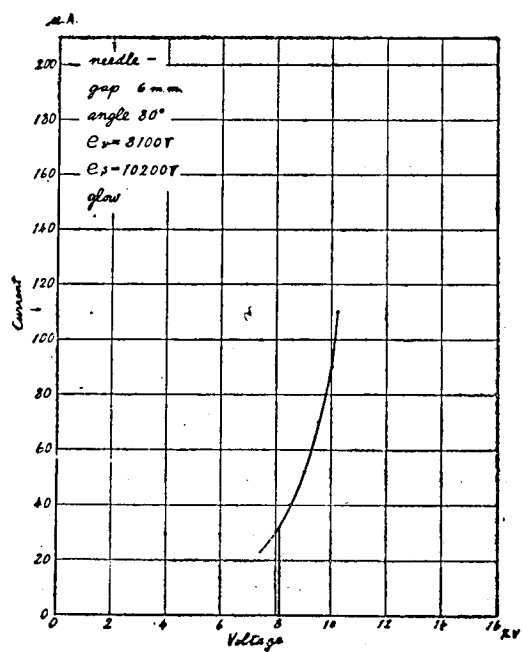
第 110 圖



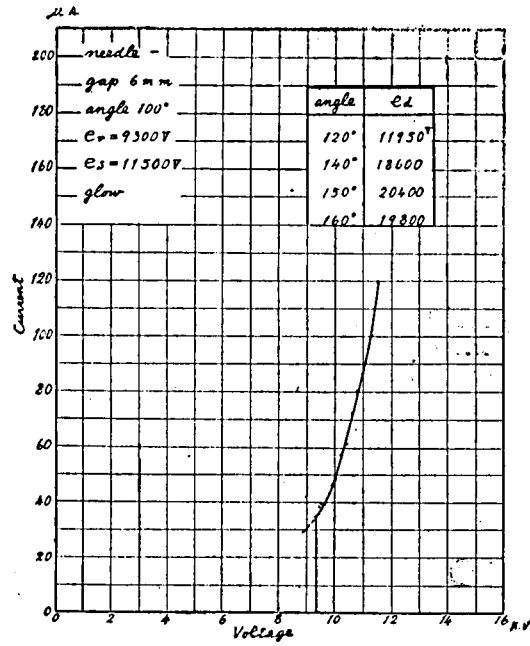
第 111 圖



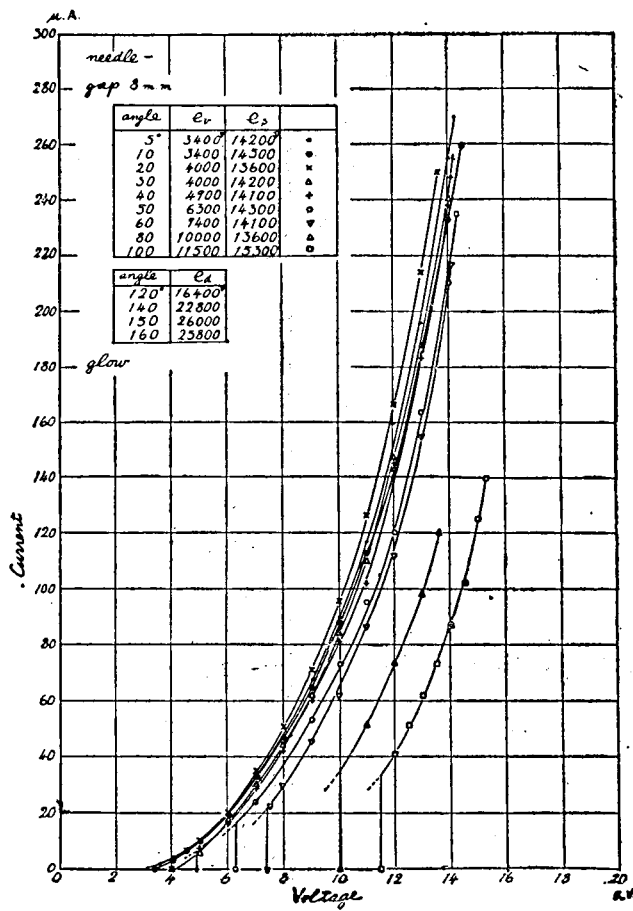
第 112 圖



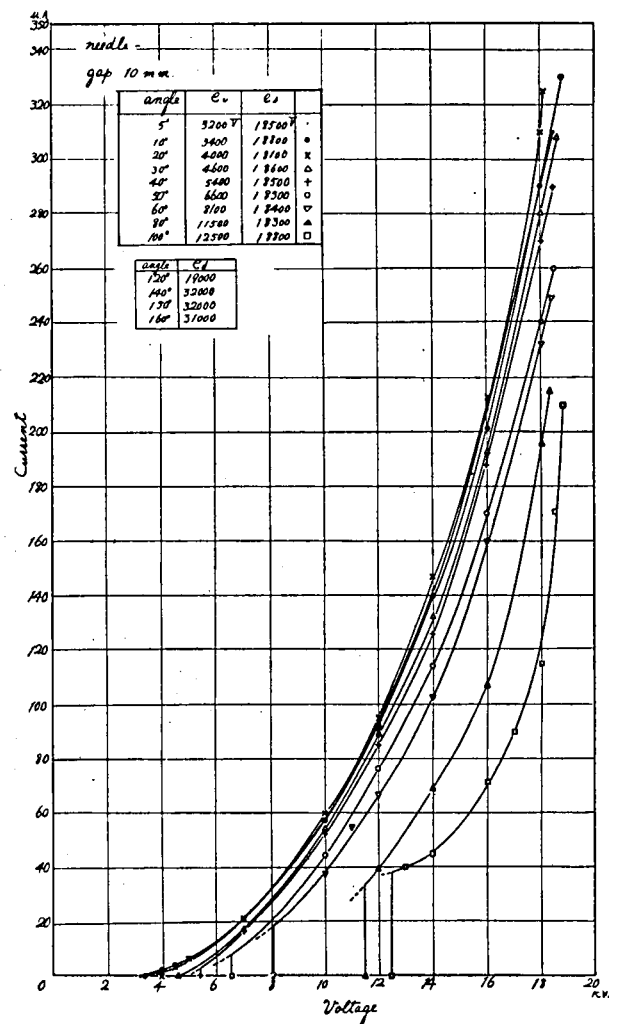
第 113 圖



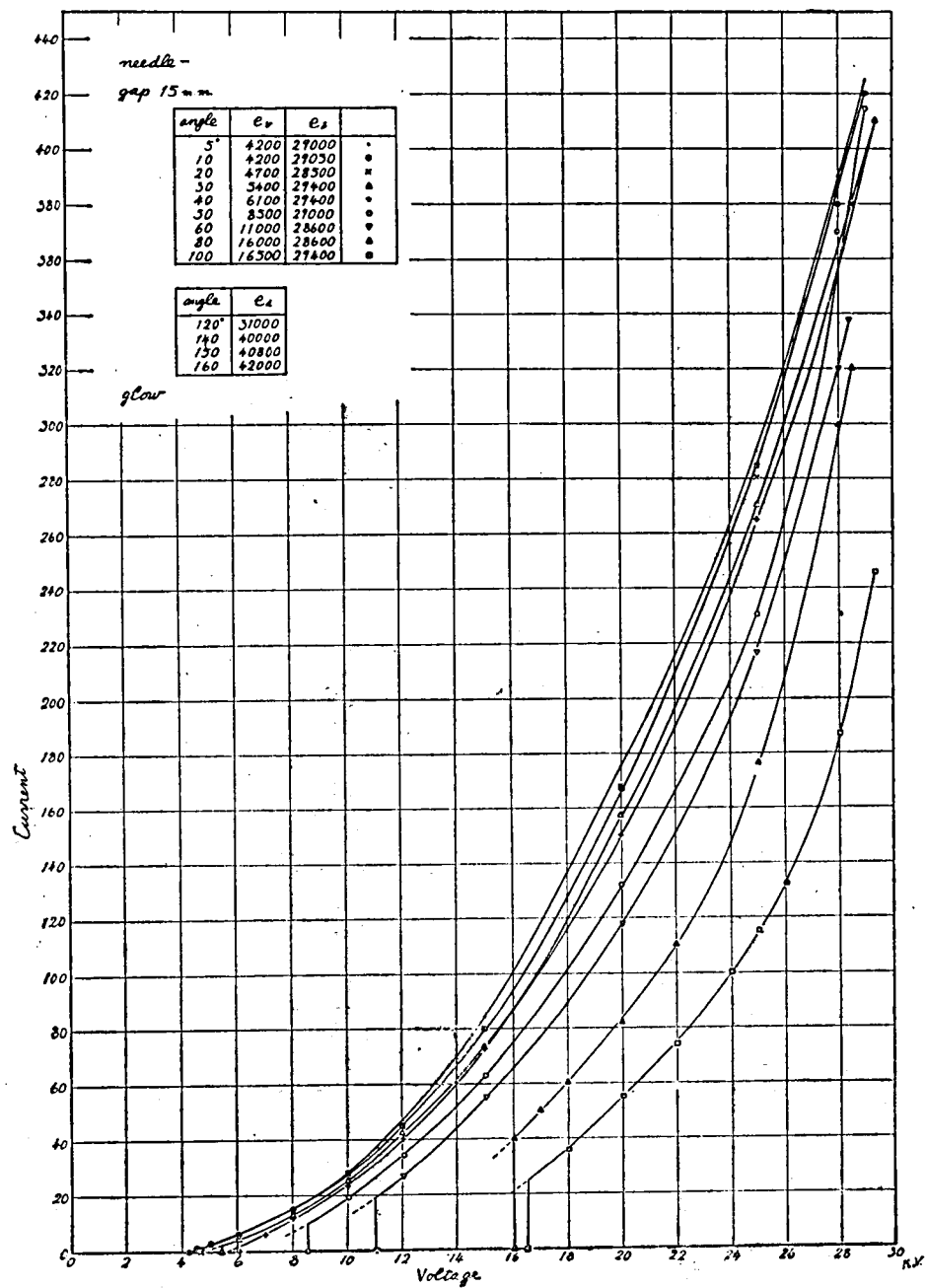
第 114 圖

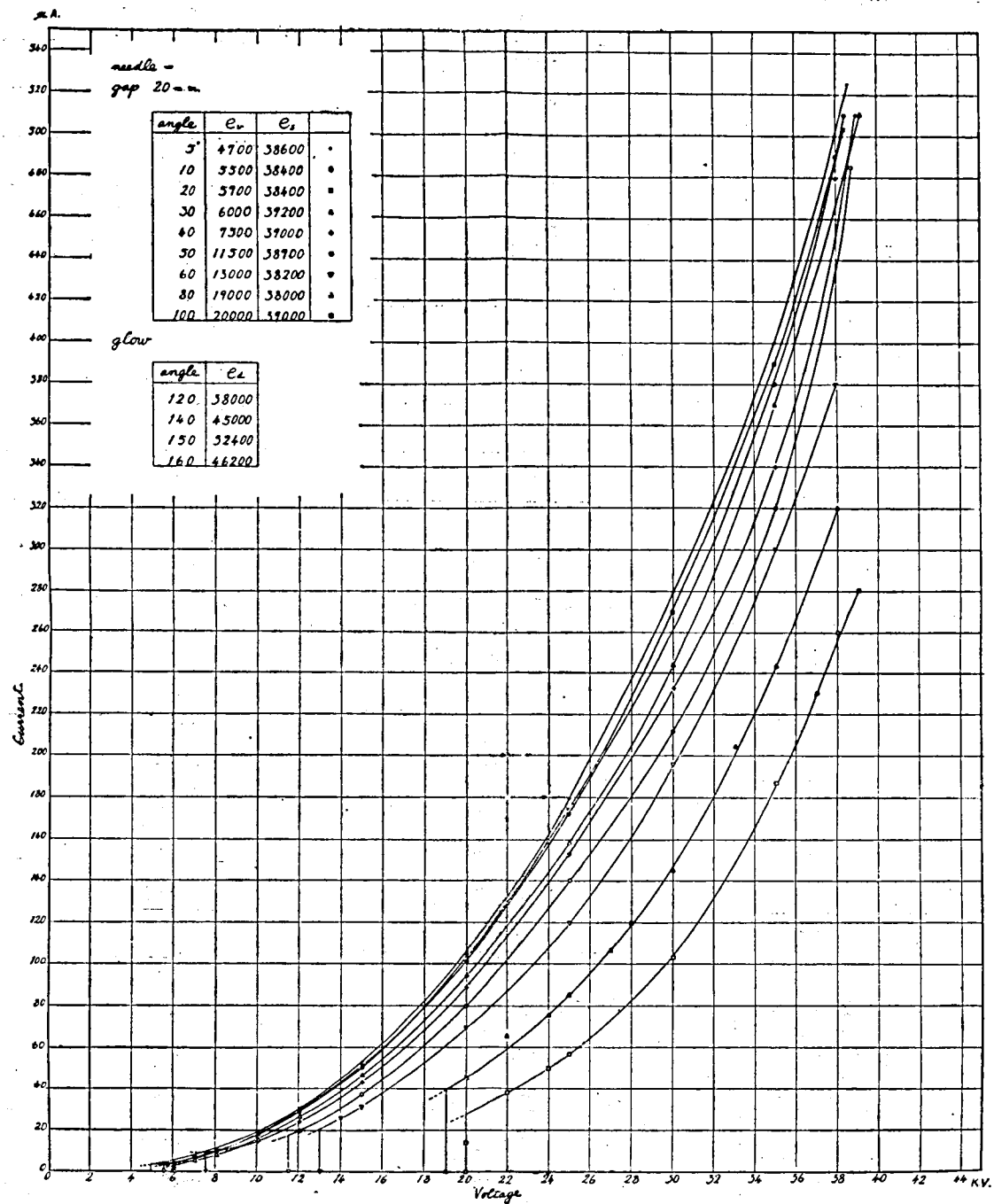


第 115 圖

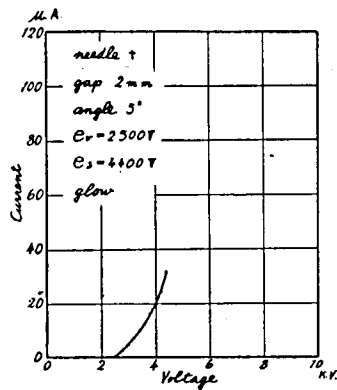


第 116 圖

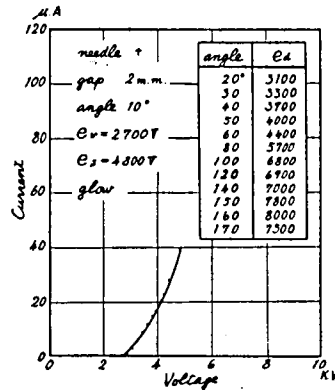




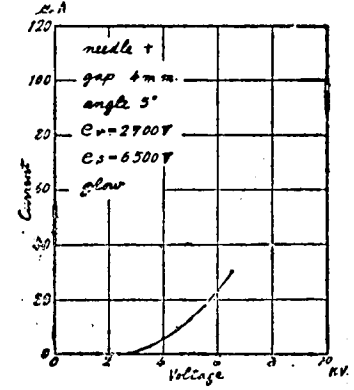
第 118 圖



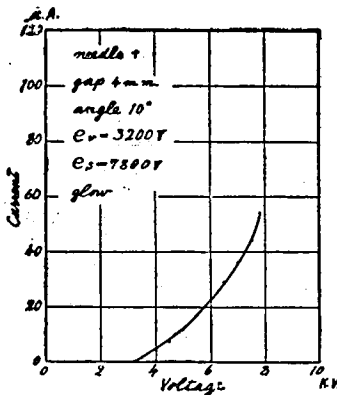
第 119 圖



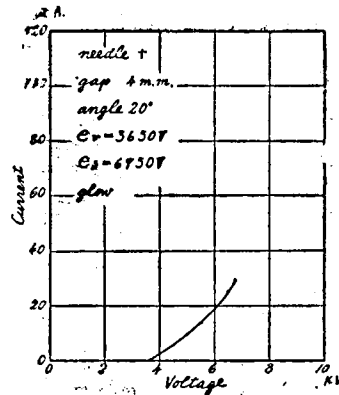
第 120 圖



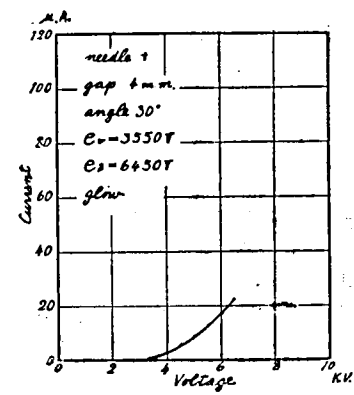
第 121 圖



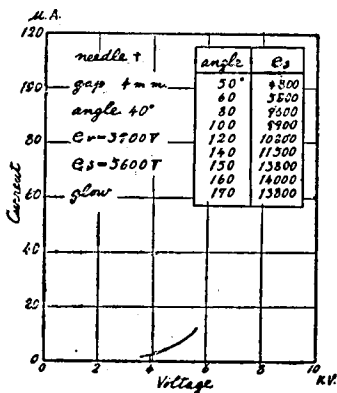
第 122 圖



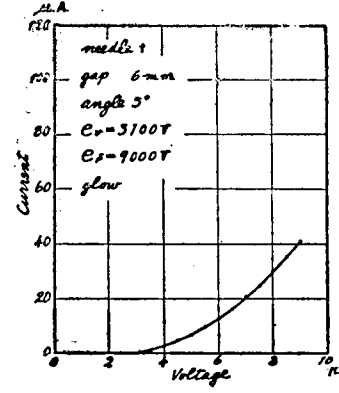
第 123 圖



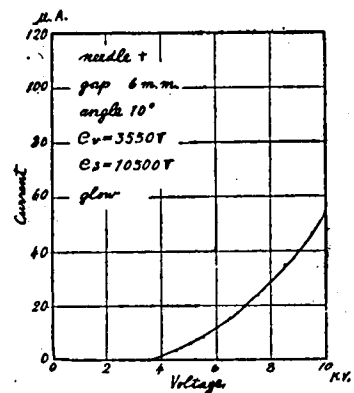
第 124 圖



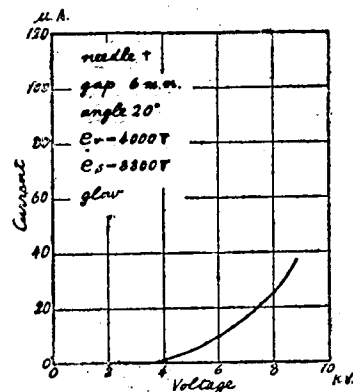
第 125 圖



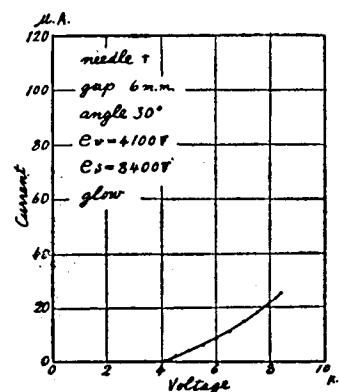
第 126 圖



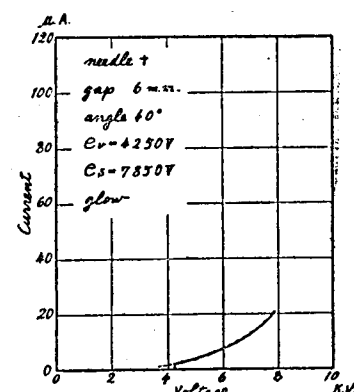
第 127 圖



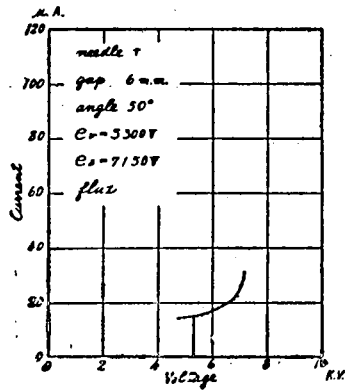
第 128 圖



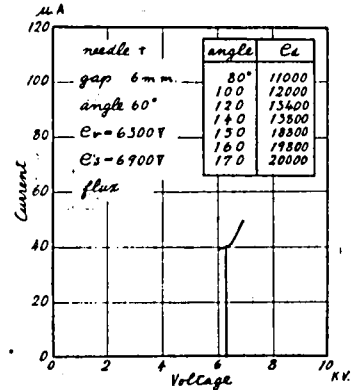
第 129 圖



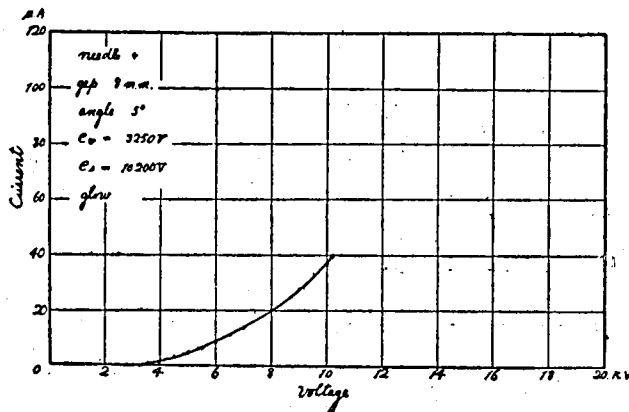
第 130 圖



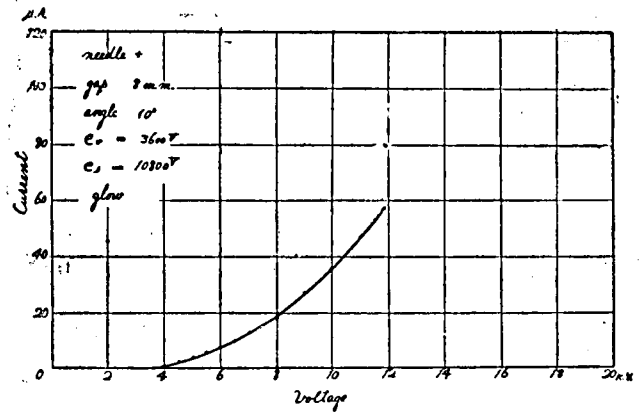
第 131 圖



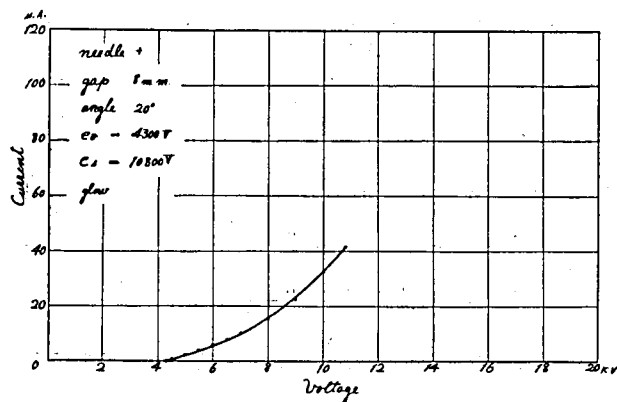
第 132 圖



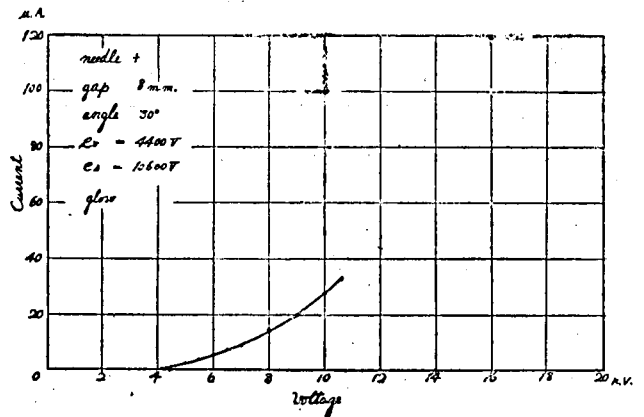
第 133 圖



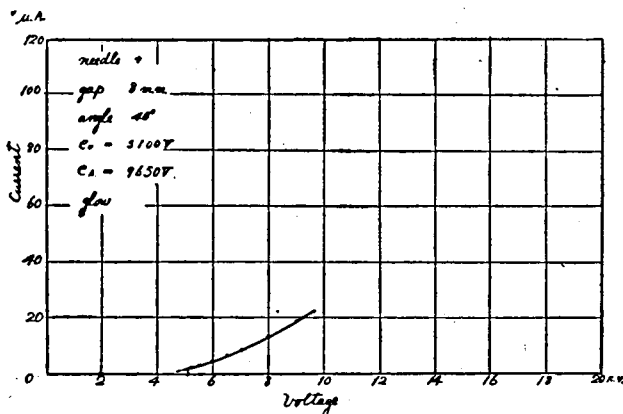
第 134 圖



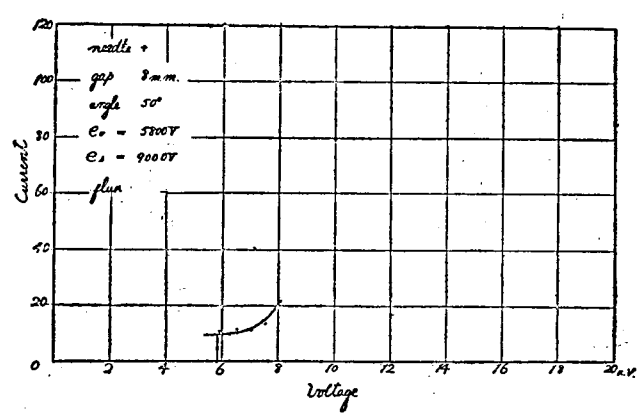
第 135 圖



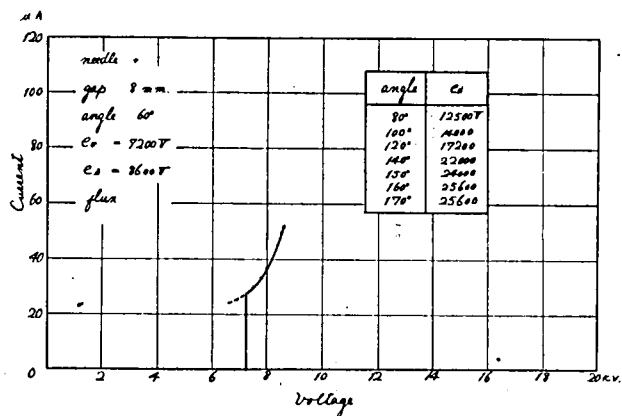
第 136 圖



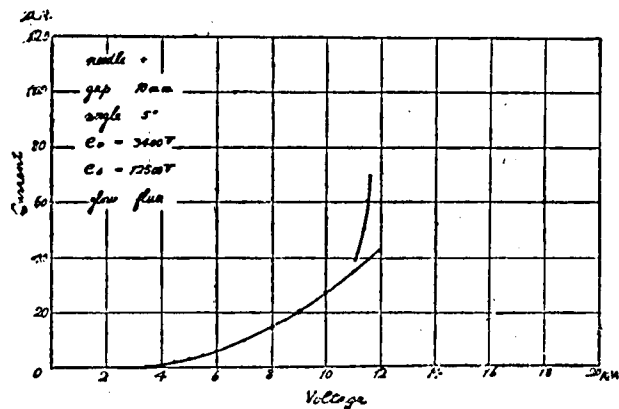
第 137 圖



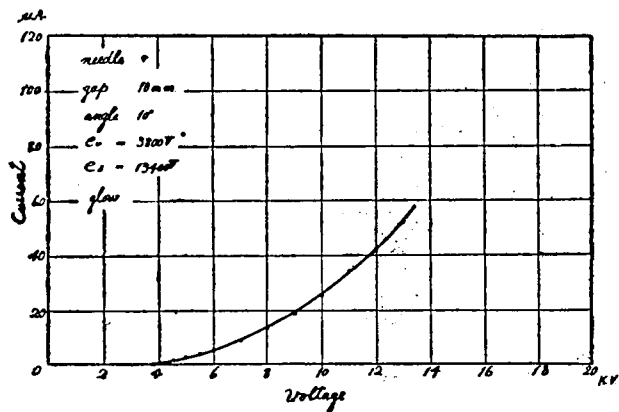
第 138 圖



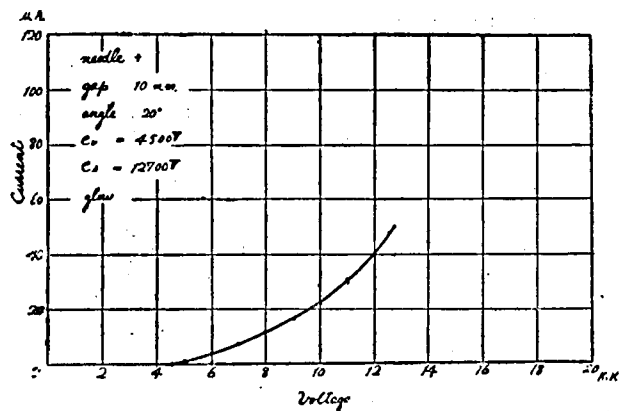
第 139 圖



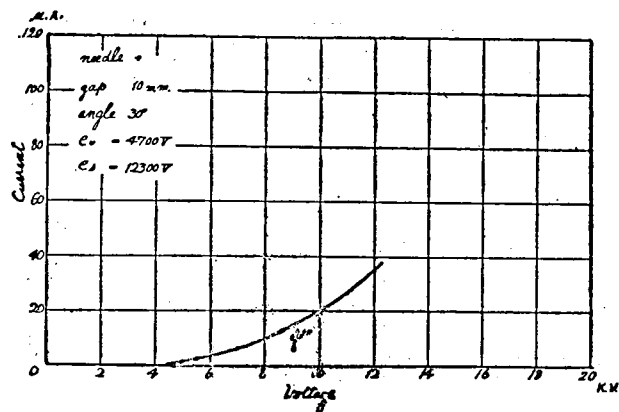
第 140 圖



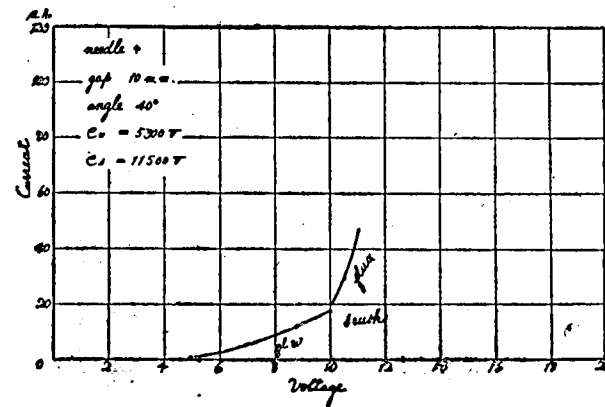
第 141 圖



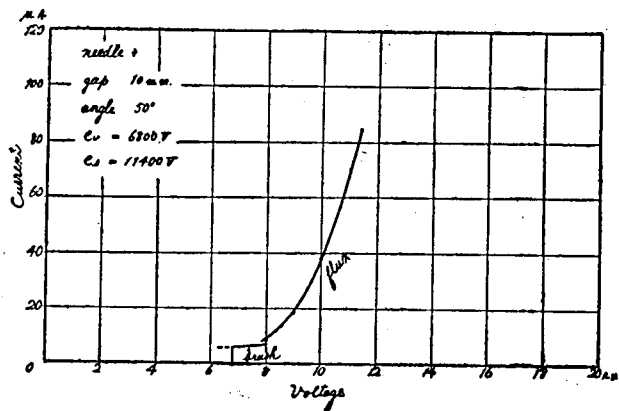
第 142 圖



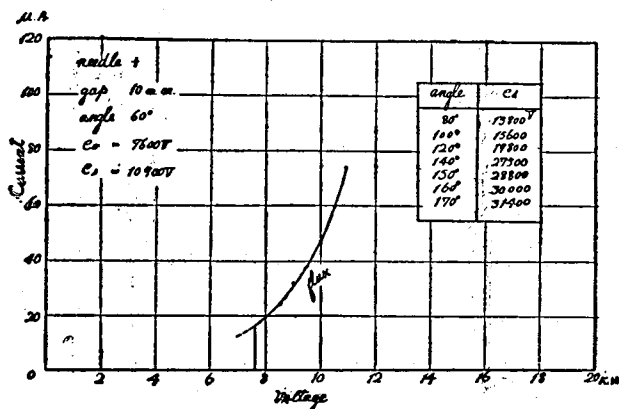
第 143 圖



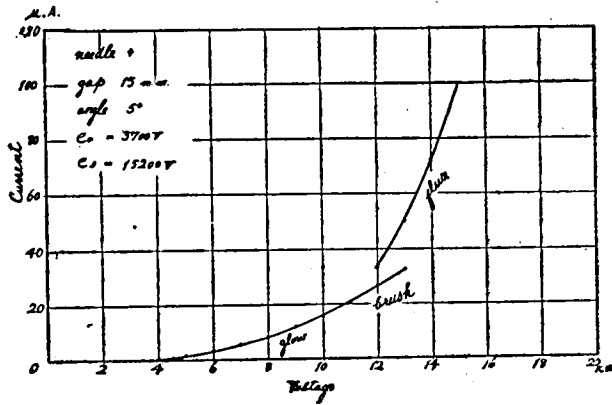
第 144 圖



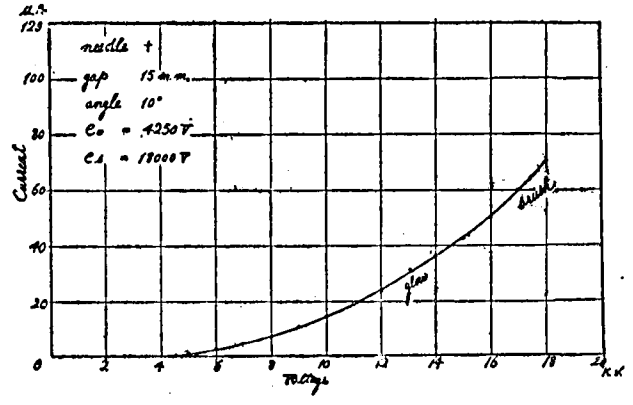
第 145 圖



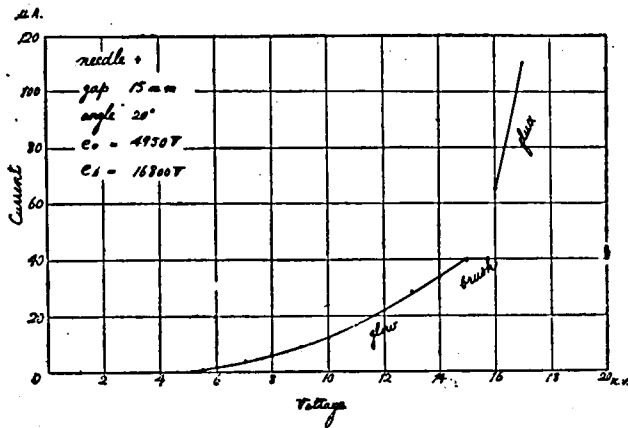
第 146 圖



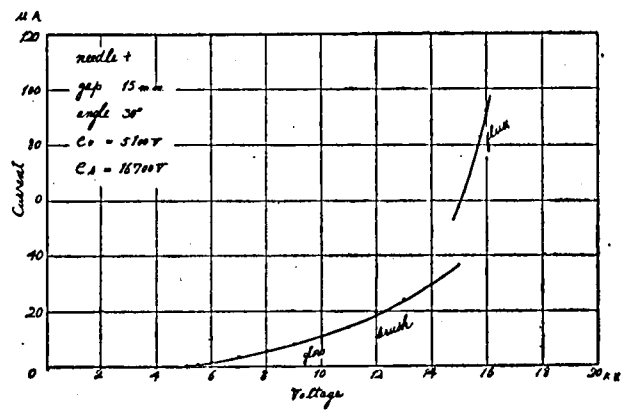
第 147 圖



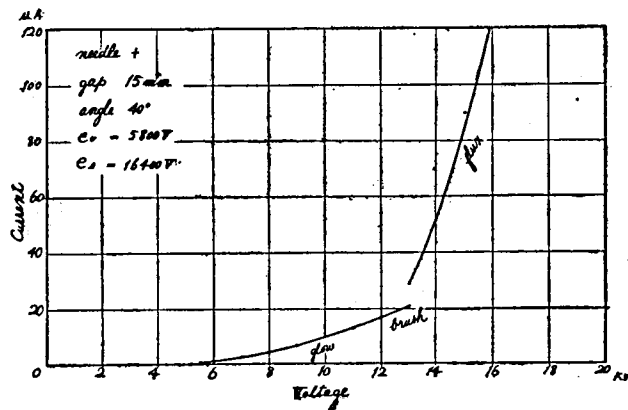
第 148 圖



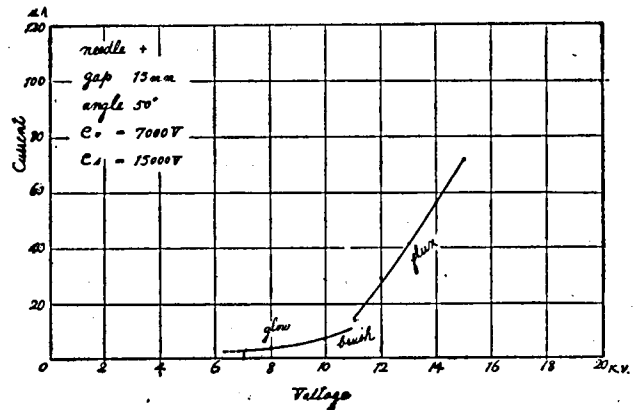
第 149 圖



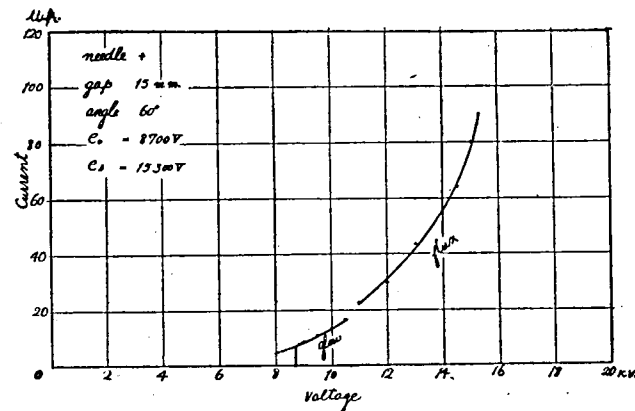
第 150 圖



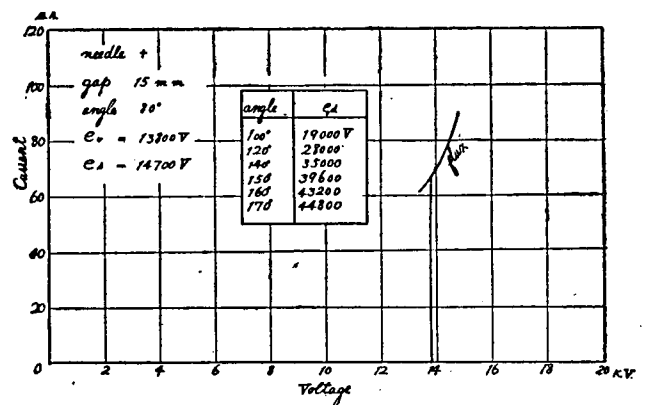
第 151 圖



第 152 圖

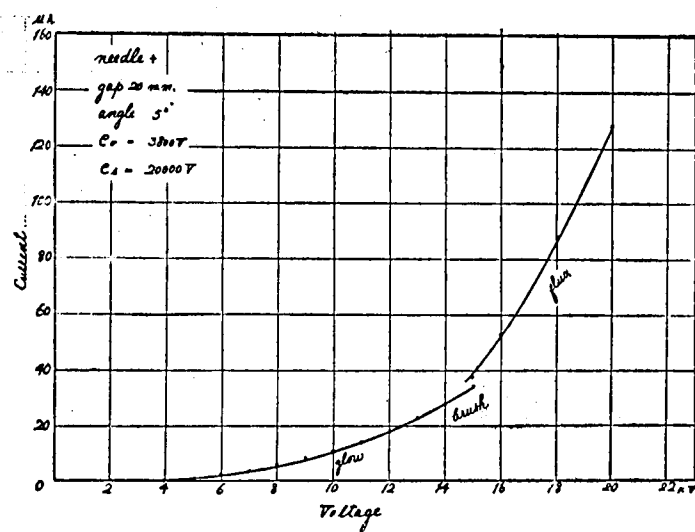


第 153 圖

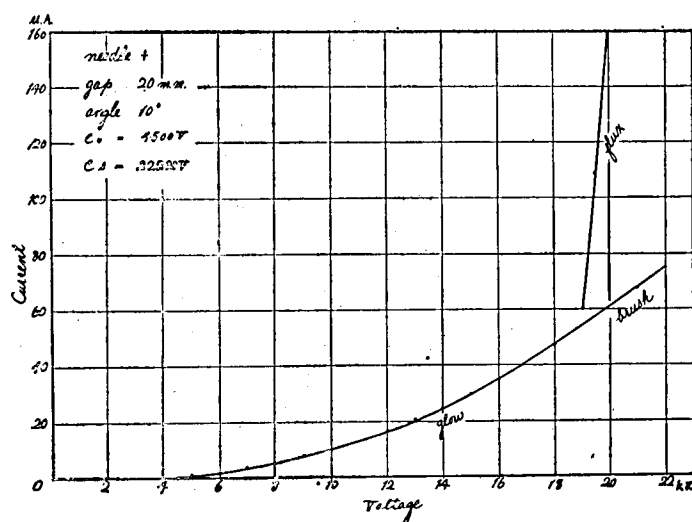


第 154 圖

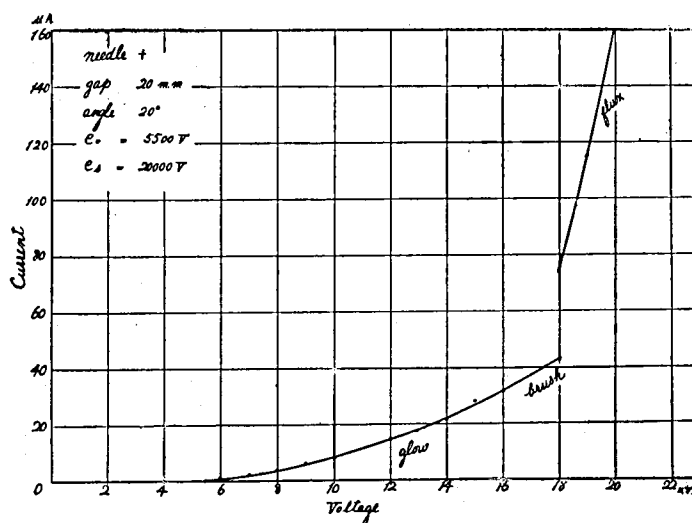




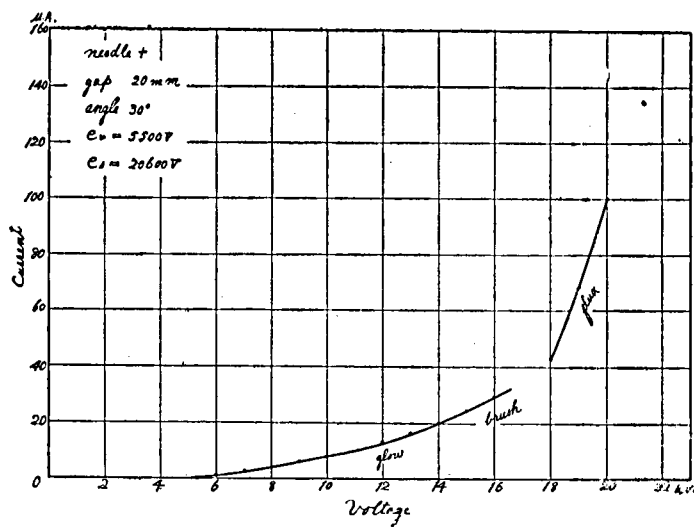
第 155 圖



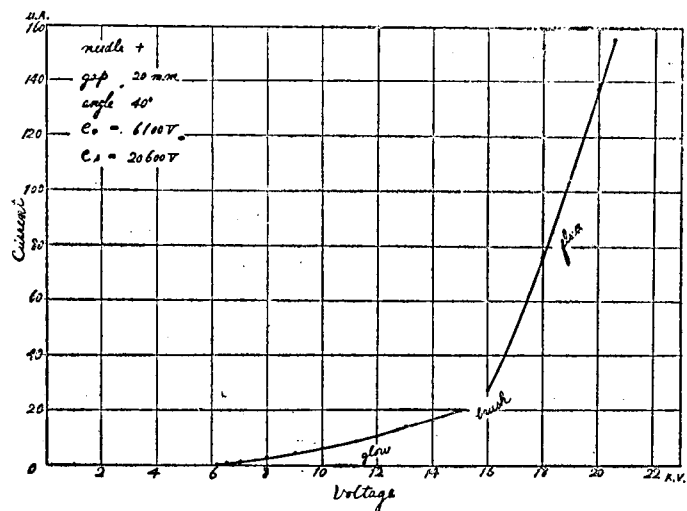
第 156 圖



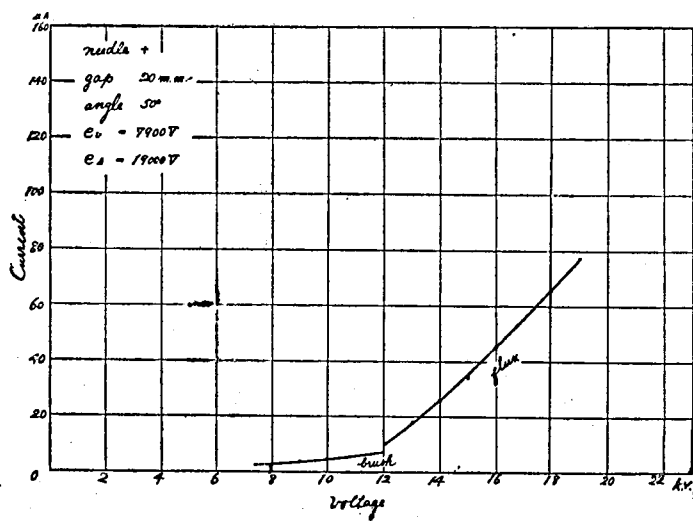
第 157 圖



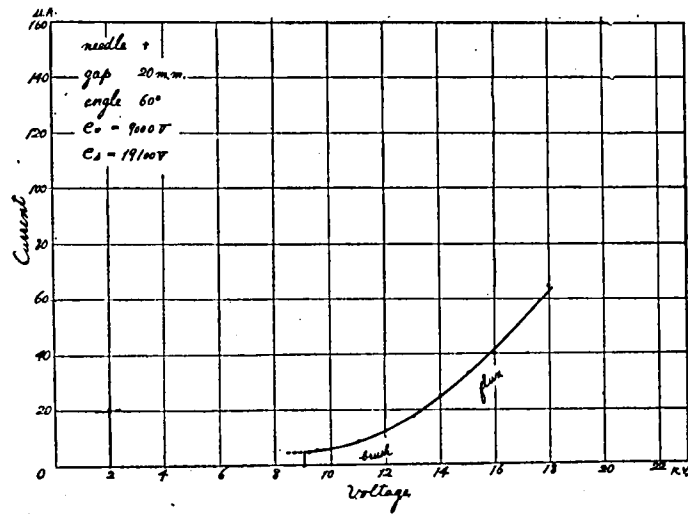
第 158 圖



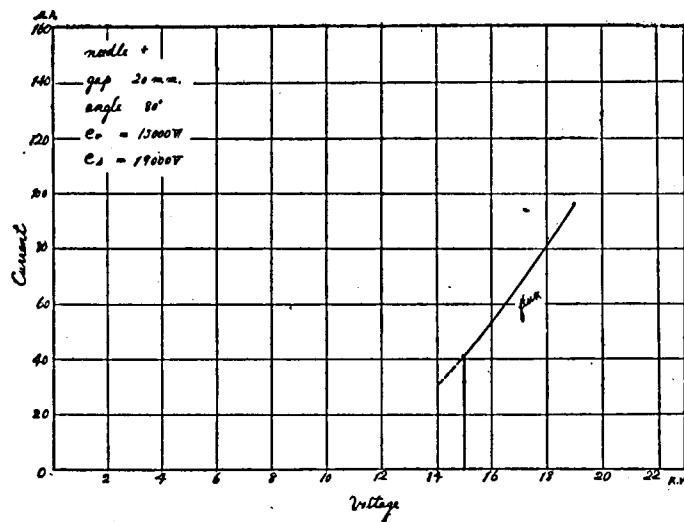
第 159 圖



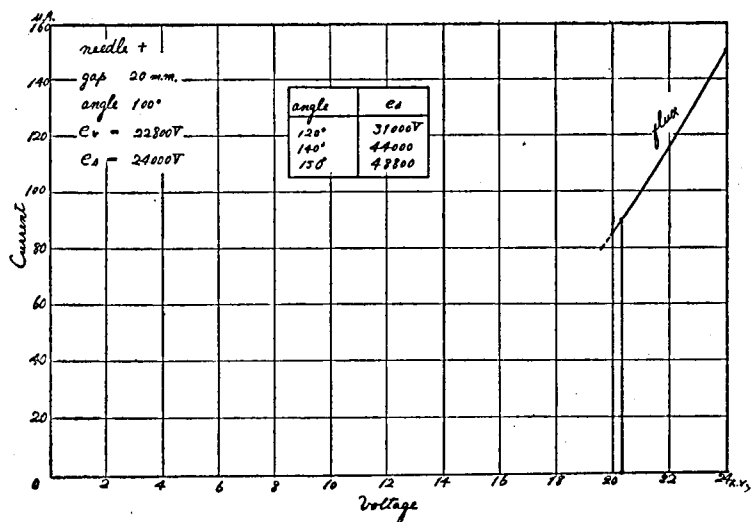
第 160 圖



第 161 圖



第 162 圖

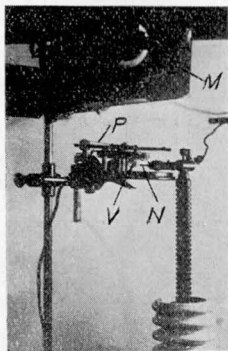


第 163 圖

## コ ロ ナ 風 電 壓 計 \*

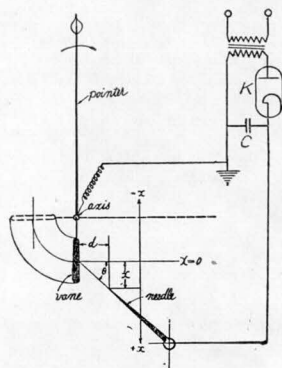
1. 緒 言 茲に云ふコロナ風電圧計とは、高電圧針端に於けるコロナ暗流又は刷子放電状態に於て、イオン運動に伴ひ媒質氣體の運動する場合に起る氣流即ち所謂イオン風を検出し、その運動状態が印加電壓の函数である事實より、印加電壓の大きさを知らうとする計器である。本方式を用いたものとしては既に“Tonic wind voltmeter”の名に於て、上記の如きコロナ放電に依り生成されるイオン風を熱線に當て、熱線の冷却程度を測定する事に依り所期の目的を達せんとする試み<sup>(1)</sup>がなされて居る。筆者は之に對してイオン風を直接計器の可動部分の加動力として利用し、之を可動部分に附した小翼に當て、更に普通計器と同様彈性制御、空氣制動を用ひて1箇の高電壓計を構成した。而してイオン風は専ら針端放電に依り發生せしめる事とした。茲に之が特性に就て實驗した結果を報告する。

2. 構 造 實驗に使用したものは普通の配電盤用可動鐵片型空氣制動式計器を可動部分のみ改造し、之に徑18mmのアルミニウム小圓板翼を付し、小翼の前方に固定針端電極を置いたものである。第1圖は本器の測定状態に於ける内部構造圖であり、第2圖は電極、主要可動部分の配置及び直流印加の場合の電氣接續圖である。



N: 針端電極  
V: 可動翼 P: 指針  
M: 指針の偏れを見る爲の鏡

第1圖 實驗狀態の  
コロナ風電壓計



第2圖 主要部分配置圖及び  
電氣的接續圖

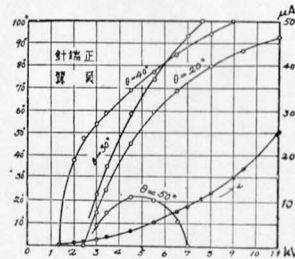
3. 實 驗 電壓測定には靜電型電壓計を本計器の直前に接續して用ひ、又本電壓計の針端側を高電壓側とし、翼側を接地側とした。固定針端としては「大ぐけ」針を用ひ、之を翼靜止位置前方  $d=25\text{ mm}$ ,  $x=20\text{ mm}$  の所に置き  $\theta$  の各種の大きさに就て電壓と翼の偏れ即ち印加電壓と指針の偏れを實驗記録した。第3圖及び第4圖は直流電壓印加、第5圖は交流電壓印加の場合の測定結果で、之と同時に直流の場合には流れる電流を記入した。而して  $\theta$  の値が

針端正の場合には  $0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$

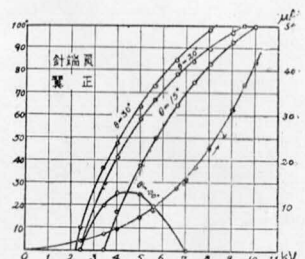
針端負の場合には  $0^\circ, 10^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$

交流の場合には  $0^\circ, 10^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ$

では翼は却つて針端に吸引される結果を得た。



第3圖 直流印加電壓と  
指針の偏れ及び電流の關係



第4圖 直流印加電壓と  
指針の偏れ及び電流の關係

また使用計器の彈條の制御回轉力は  $0.013\text{ g cm (90}^\circ\text{ の偏れにて)}$  であつた。

4. 論 議 針端よりの電氣風は針端より氣流の噴出する如く起る故、針端固定の場合翼に當る電氣風は翼の位置即ち偏れの角度及び  $\theta$  の値に依り著しく相違する。しかも翼には反加動力として靜電引力が現れるから、本計器の電壓對偏れの特性曲線は上記實驗結果に見る如く電極の配置に依り極めて複雑なる特性を現し或る場合には吸引されるのを知る。

電壓對偏れの曲線が凡て零點に始まらず相當電壓上昇後に現れることは、電壓値少き間はイオン風は殆ど無視される程小で或る電壓値に達して急に増大するか、或はイオン風には或る開始極限電壓が存在するかに依ると考へられる。

同電壓に對して針端負なる場合の方が正なる場合よりも消費電流は大である。併しその大きさは上記の實驗では最大の偏れにて  $45\text{ }\mu\text{A}$  程度となつて居るから、此の計器の直列安定抵抗を相當高く取つても之に依る電壓降下は極めて少く、直列抵抗に依る誤差は無視し得られる。従つてワット損も小であると言ひ得る。

5. 結 論 實驗結果より本計器は次のやうな特徴を持つ事を知る。

(1) 本計器は普通の携帯用又は配電盤用計器の一部分を改造するのみで容易に製作し得られ、而も實用計器として使用に耐へる。(2) 消費電力が少い。(3) 電壓對偏れの曲線、即ち計器の目盛は電極配置を工夫する事に依り任意のものを作り得る。(4) 正負極性、交流に對して皆同一目盛を與へる事困難である。(5) 感度を大とするには針端指示方向が指針回轉各位置に於て翼面を通過する如く電極配置を行へば良い。(6) 電壓低き所にては測定不能、イオン風顯著となつて初めて測定可能となる。(7) 本計器は温度、湿度、大氣のイオン化状態及び氣中塵埃量等に依つて如何なる影響を受けるかは残された問題であり、就中湿度の影響に就ては充分研究を要するが筆者の數回に互る定性的なる實驗に依ればその影響は認められなかつた。

\* The Corona Wind Voltmeter. By Ryōzi UENISI, Member. (Institute of Electrical Engineering, Kyoto Imperial University.)

本研究は鳥養利三郎教授の御指導に依つて行はれたものである。

(1) Thorton, Water & Thompson: J.I.E.E. 69, 532 (1931)



## 第二編

### 衝撃電圧に関する実験的研究

## 第一章

### 緒論

電氣回路に發生する衝撃性異常電壓、特に雷の直撃又は誘導に依る送電線上に生起する異常電壓に関しては、過去十數年間概ぼる研究が内外各方面に行はれて来たのである。實地觀測の記録から該異常電壓の極性、波形、並に傳播の姿態も次第に明かにされて来たのである。茲に於て、かかる異常電壓の下に置かるべき電氣機番の絶縁も、單に常用商用周波電壓に對するのみ設計又は試験されたのでは全く不十分となり、衝撃性異常電壓の絶縁耐力或は電壓分布に如何なる特性を持つか、充分検討されなければならない。又それらの設計や試験も全く新しい基礎の上に立てなければならない必要が生じて来たのである。ざりと云へ、實際に生起する異常電壓は、全く千差萬別である。之等のあらゆる場合を考慮した設計や試験とは許されない。實際問題として、何等かの便宜的規準を設計上に依り設計又は試験が行はれるはならない譯である。

かかる見地から、電氣規格調査會 電氣機番標準調査委員會では、昭和10年以來衝撃電壓試験に関する調査を開始し、昭和12年末變壓器衝撃電壓試験規程草案<sup>(1)</sup>の發表を見たが、充分なる資料も當時は未だ得られず、進んで翌年、衝撃電壓標準調査委員會の結成を見、以來衝撃電壓試験に関しては各方面より豊富な資料と検討が加へられ、昭和15年變壓器衝撃電壓試験標準規程草案<sup>(2)</sup>の發表を見、更に昭和19年10月DGK106(2604)<sup>(3)</sup>として、衝撃電壓試験標準規格の制定を見るに至つたのである。

並に昭和20年2月DGK-110(2605)<sup>(4)</sup>として、變壓器衝撃電壓試験標準規格

之等の過程中、各方面には強かな衝撃電壓發生裝置の設置を見る。又衝撃電壓の測定並に衝撃電壓下の各種の機器の特性に就く多数の研究が行はれたのである。

本編は筆者の行った衝撃電壓試験に用いた衝撃電壓發生裝置に関し、其特性の究明、同電壓の測定法、及び各種機器器具の衝撃電壓特性に就く實驗的研究と行った結果を纏めたものである。

### 参 考 文 献

- |           |           |           |                  |
|-----------|-----------|-----------|------------------|
| (1) 電 學 誌 | <u>58</u> | 225 (昭13) |                  |
| (2) 電 學 誌 | <u>60</u> | 325 (昭15) |                  |
| (3) 電 學 誌 | <u>60</u> | 342 (昭15) |                  |
| (4) 電 學 誌 | <u>66</u> | 12 (昭21)  | D G K-106 (2604) |
| (5) 電 學 誌 | <u>66</u> | 54 (昭21)  | D G K-110 (2605) |

# 第二章

## 衝撃電壓發生裝置に關する實驗的研究

### 内 容 梗 概

本文は、衝擊高電壓實驗用として、京都大学工学研究所に備付けられたる、並列充電方式 1,000 kV 發生裝置の特性に關する實驗的報告である。

先づ第 I 節緒言に於て、衝擊電壓試驗並に之に用ひらる、衝擊電壓發生裝置の沿革に就て述べ、本文發表の目的を示せり。

第 II 節は實驗せる 1,000 kV 衝擊電壓發生裝置の概要の仕様、並に配置に就て述べ、

第 III 節に於ては、衝擊電壓發生裝置の諸充電方式を解説し、筆者が並列充電方式を採りたる理由を述べ、充電速度の計算、並に實例を示し、充電抵抗器の選定に對する筆者の經驗上の意見が述べられてある。

第 IV 節は絶縁の問題と題して、多段衝擊電壓發生裝置の構成蓄電器と其絶縁架台に就て述べ、筆者現用の發生裝置の絶縁状態に言及した。

第 V 節は起動方法に關して行ひたる實驗に就て述べ、筆者考案の反擊阻止回路の特徴を記した。

第 VI 節にては、衝擊電壓發生裝置の各部分のインダクタンス、キャパシタンスを種々の方法を以て測定せる結果を示せり。

第 VII 節は波形と題し、衝擊電壓試験に對し現在各國に用ひらるゝ標準波形を紹介し、次に回路常數決定に用ひらるゝ等價回路に就て説明し、更に波形調整の方法を述べた。

第 VIII 節は衝擊電壓波頭附近の高周波の重疊に關して實例を示し、其原因を明にし、更に振動除去の方法に就て述べた。

第 IX 節は結言なり。

尚附録として、等率充電方式に對する考察を行へり。

### I. 緒 言

筆者等の實驗室に於ても、衝擊高電壓發生器の設置の完成を見、各種の衝擊電壓試験に用ひられつゝあるが、之が完全なる駆使は、その特性の充分なる究明と、之が高度の習熟とにある。

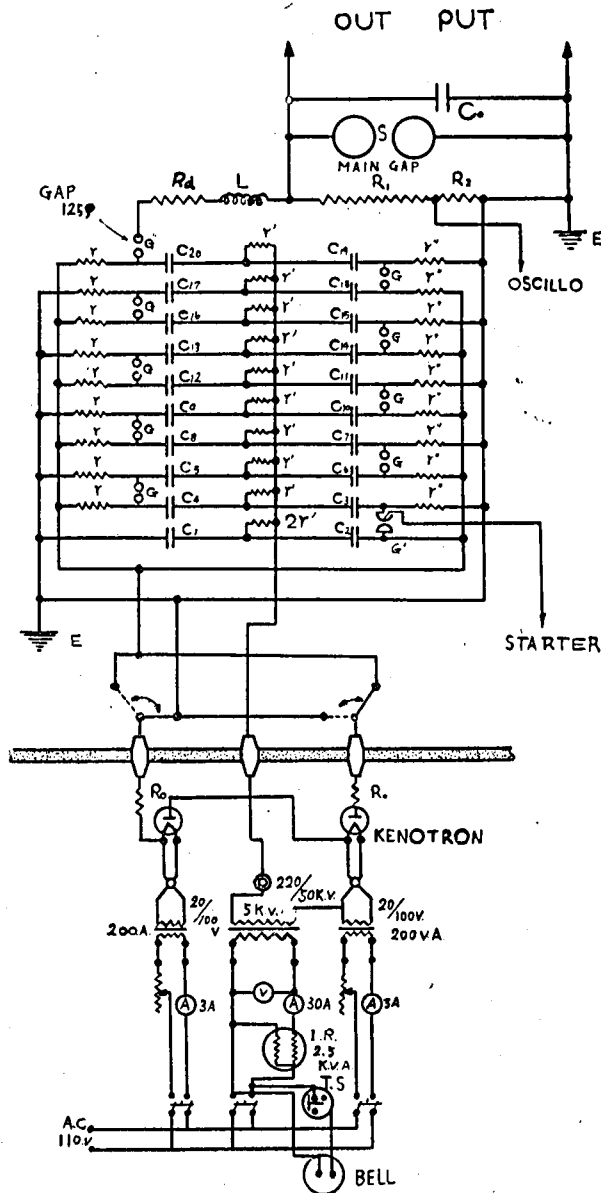
本文は當所設置の本器に關して筆者等が實驗した結果を中心として、一般に高電壓衝擊發生器に關して、その電壓發生法、放電の特性、衝擊試験法等に就き考察を行つたもので、此方面將來の技術的進歩に對する一拾石ともならば幸甚と考へる。

衝擊電壓發生器殊に高電壓多段衝擊發生器は、その設計組立及び操作並に發生電壓の測定等相關連した問題に就て、未解決の事項多く、之が周到なる活用は簡單容易なる業ではない。

### II. 實驗せる衝擊電壓發生器の概要

實驗せる衝擊電壓發生器は第 1 圖の如き接続にて、一個最高 50 kV まで充電し得る蓄電器を左右二群に





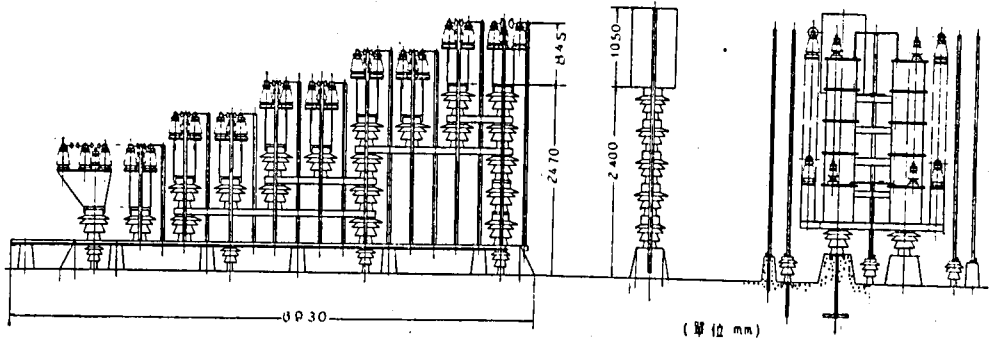
第 1 圖 1,000 kV 衝撃電壓發生器結線圖

分つて並列に充電し、之を直列に放電することに依り、波高 1,000 kV までの衝撃電壓を得るゝ如きもので第 1 表の常數を持つ。

使用蓄電器は日立製屋外用油入紙コンデンサーである。放電、充電用の各抵抗はベークライト棒管内に食鹽水を入れて使用せり。放電間隙は  $G''$  が直径 127 mm,  $G$  は径 76 mm, の半球,  $G'$  は始動間隙であ

出力最大波高電壓	1,000,000 V
全直列電氣容量	0.01 $\mu$ F
出力エネルギー	5,000 ジュール
蓄電器個數	20個
1個の蓄電器の容量	0.2 $\mu$ F
" 電壓	50 kV

第 1 表 1,000 kV 衝撃電壓發生器常數



第 2 圖 蓄電器支持碍子群

る。蓄電器支持の絶縁塔は總て日本碍子製 LU 2100 型ピン碍子をチャンネル鋼にて組立て第 2 圖の如くなしたるものである。

蓄電器を載せて組立てたる後、最上部の高さは床上 3.45 m、又底面長さは 8.78 m、幅は 2.5 m、となつた。

充電用電源としては容量 50 kVA 二次電壓 50 kV 一次電壓 200 V の變壓器の發生電壓をケネトロンで整流して得た。

以上の内充電用電源以外はすべて屋外に設置せり。衝擊電壓發生器の性能及び電壓測定結果はその空間的配置の模様に依つて著しく左右せらるゝを以て、參考の爲に配置圖を第 3 圖第 4 圖に掲ぐ。

尙第 5 圖は屋内に設置せられた充電裝置、第 6 圖は屋外の發生器主體である。

尙電壓測定用に筆者の常用せる球間隙、並に角棒間隙は本器の發生高電壓側に入れられ、夫々第 7 圖第 8 圖の構造を持つ。

### III. 充電に對する考察

#### 1. 充電方式

衝擊電壓發生器の充電方式には、周知の如く、交流充電方式のものと、直流充電方式のものとがある。前者は放電に際して、極性の調整が面倒なる點と、充電用高壓變壓器に相當の容量を持たねばならぬ缺點があるので、今日あまり用ひられてゐない。後者は高壓整流管の發達に伴ひ前者の缺點を充分補ひ、今日用ひらるゝものは殆んどすべて本方式のものである。かゝる直流充電方式のものに於てはその發生電壓の高きものに限り多段式となす。之には充電用抵抗の接續方式に依り次の三種あり。

1. 直流抵抗充電方式
2. 並列抵抗充電方式
3. 並直混用抵抗充電方式

第 1 の直列充電方式は E. Marx に依つて創案せられしものにして構造上簡單ではあるが、各蓄電器の充電率を一樣にすることが困難であつて電源から遠い蓄電器程充分に充電されぬ缺點がある。

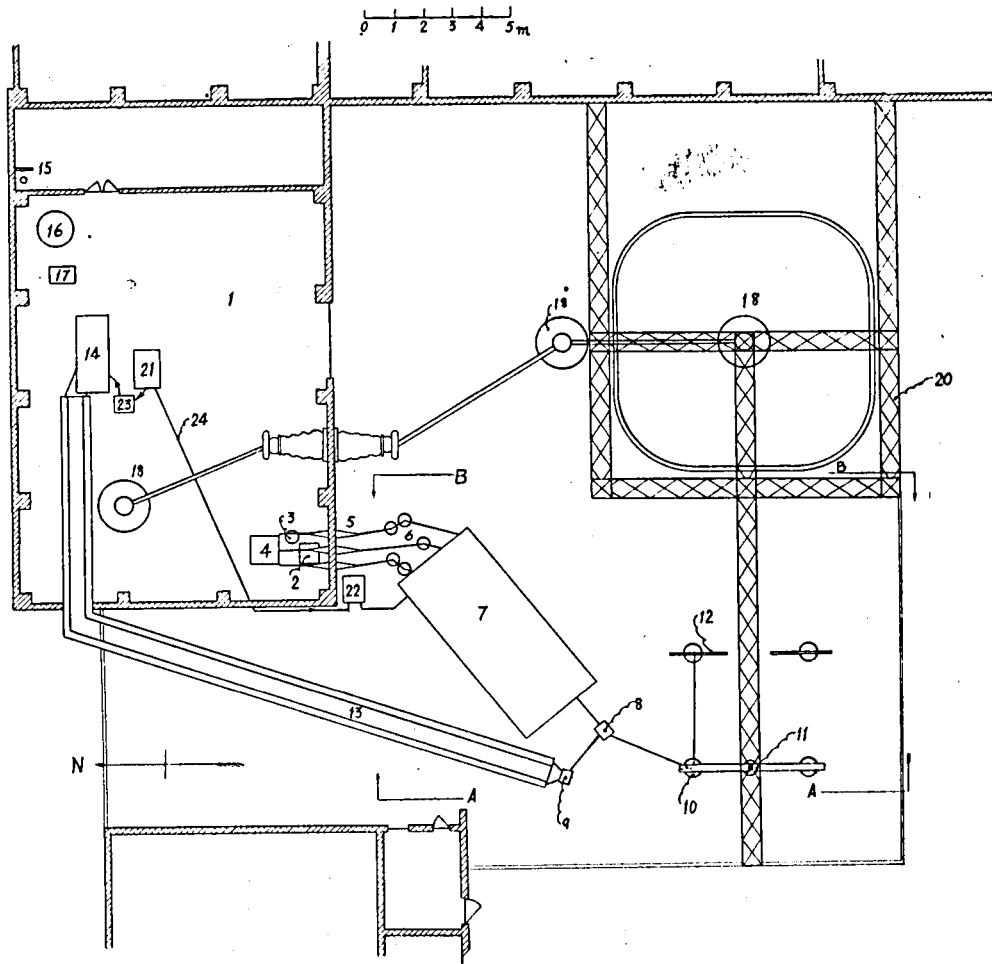
凡そ多段衝擊電壓發生裝置の運用操作に當つては、その構成蓄電器の或者に靜電電壓計を挿入し、その指示に依りて該蓄電器の充電電壓を知り、之を以て他の各蓄電器端子電壓又は全發生電壓を決定せむとするものなるが故に、各蓄電器の端子電壓は絶えず同一である事が望ましい。この點より見るに、直列抵抗充電方式は推奨し得ない。尤も之に對して等率充電を行ふべく特種の改良を施してゐるものもある。<sup>(1)(2)</sup>

第 2 の並列抵抗充電方式は各部の抵抗一定なるとき、各蓄電器を一樣に充電し得られ、充電途上放電を行はんとする場合にも各蓄電器端子電壓の不同と言ふことは無い。此の立場から筆者は並列充電方式を採用せり。尤も構造や複雑となるを免がれぬが操作の簡易と言ふ點より本方式が有利なりと信ず。

第 3 の方式は上兩式を混用せるものにして構造益々複雑となる。(附録參照)

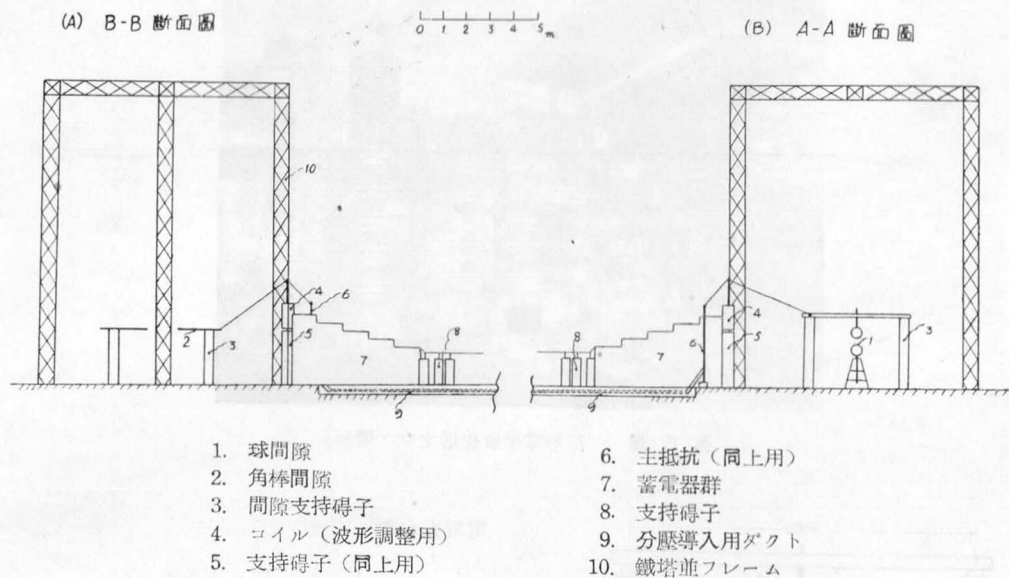
#### 2. 充電速度

衝擊電壓發生裝置が第 1 圖に示す如き、並列充電方式なるときは、 $C_1, C_8, C_6, C_7, \dots, C_{15}, C_{10}$  の蓄電器群と  $C_2, C_4, C_{11}, \dots, C_{20}$  の蓄電器群とは電源の別々の半波に依て充電せらるゝを以て、各蓄電器の容量  $C$  を一定とし、各充電抵抗  $r, r', r''$  を何れも一定値  $r$  と取り、之を一定電壓  $E$  にて充電する場合、蓄電器端

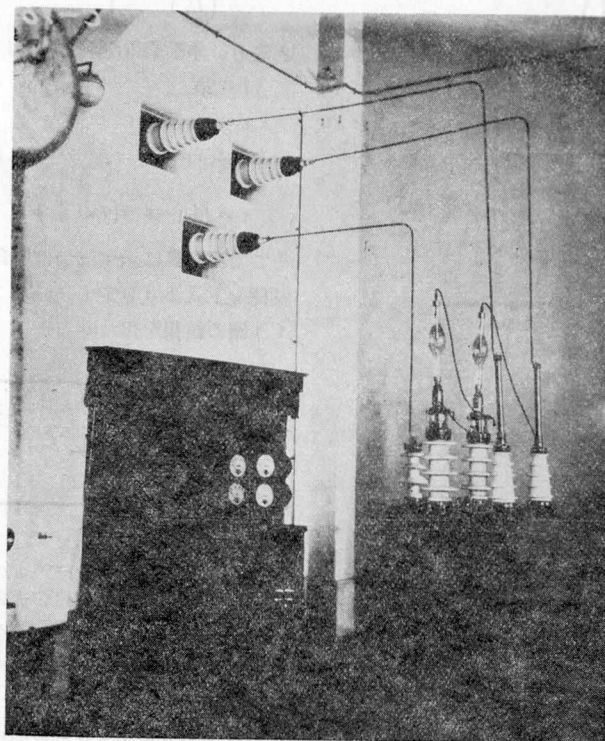


- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. 屋内高圧実験室            | 13. 分壓導入用ダクト             |
| 2. 配電盤 (衝撃電圧発生器充電用)   | 14. 陰極線オシログラフ            |
| 3. 誘導電圧調整器 (同上)       | 15. A.C. 3,300 V 受電盤     |
| 4. 変圧器 (同上)           | 16. 誘導電圧調整器              |
| 5. プッシング (同上)         | 17. 変成器 (接地抜用*)          |
| 6. 支持導子 (極性切換用)       | 18. 30萬ボルト試験変圧器          |
| 7. 衝撃電圧発生用蓄電器群        | 19. プッシング (同上用)          |
| 8. インダクタンスコイル (波形調整用) | 20. 鉄柱並フレーム              |
| 9. 主抵抗 (同上)           | 21. 始動衝撃発生器              |
| 10. 球間隙支持導子           | 22. 反撃防止装置               |
| 11. 球間隙               | 23. キャプタリレー (陰極線オシログラフ用) |
| 12. 角棒間隙              | 24. 始動衝撃傳達用ケーブル          |

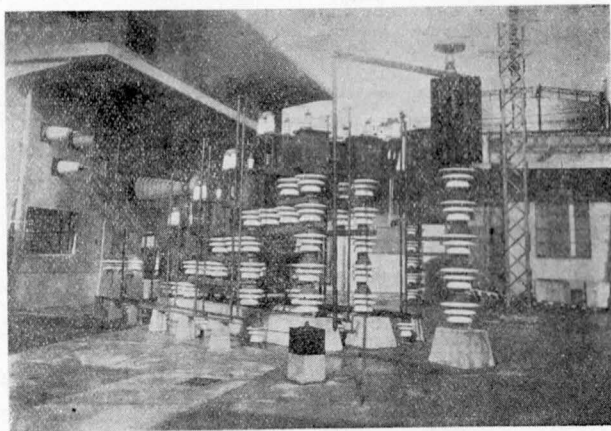
第 3 圖 衝撃電圧発生装置配置平面圖



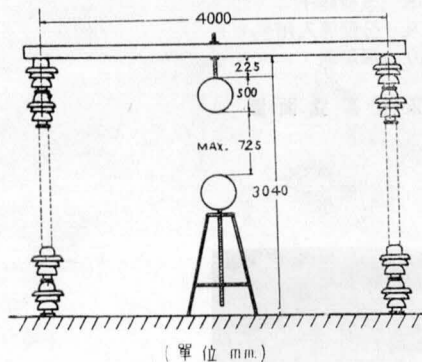
第 4 圖 衝擊電壓發生裝置配置立面圖



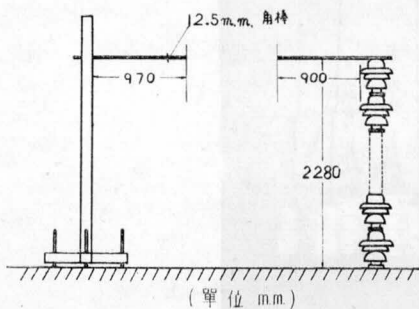
第 5 圖 充電裝置 (屋 内)



第 6 圖 衝撃電壓發生器主體（屋外）



第 7 圖 球 間 隙



第 8 圖 角 棒 間 隙

子電圧  $v$  を求めると、

$$v = E \left( 1 - \varepsilon^{-\left( R_0 + \frac{4r}{n} \right) \frac{nc}{2}} \right) \dots \dots \dots (1)$$

茲に  $n$  は蓄電器の總數となる。此時各蓄電器の充

電電流  $i$  は

$$i = \frac{E}{\left( \frac{n}{2} R_0 + 2r \right)} \varepsilon^{-\left( R_0 + \frac{4r}{n} \right) \frac{nc}{2}}$$

全充電電流は

$$I = \frac{E}{\left( R_0 + \frac{4r}{n} \right)} \varepsilon^{-\left( R_0 + \frac{4r}{n} \right) \frac{nc}{2}}$$

となる。本衝撃電壓發生裝置に於ては

$$n = 20$$

$$c = 0.2 \mu\text{F}$$

であるから

$$v = E \left( 1 - \varepsilon^{-2 \left( R_0 + \frac{r}{5} \right)} \right)$$

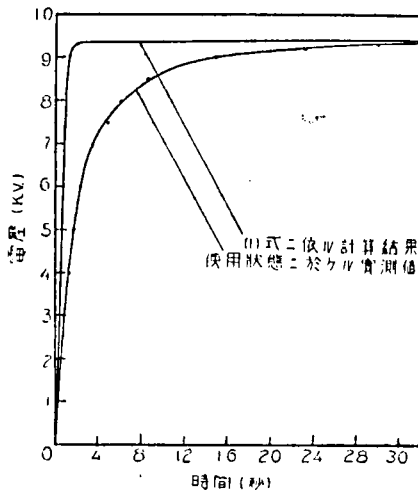
そこで第2表に示す三つの場合に就き時間と電壓との関係を上式より算定したるに第9圖、第10圖、第11圖の結果を得たり。

	①	②	③
$R_0$	0 $\Omega$	300 k $\Omega$	1 M $\Omega$
$r$	1 M $\Omega$	1 M $\Omega$	1 M $\Omega$

第 2 表

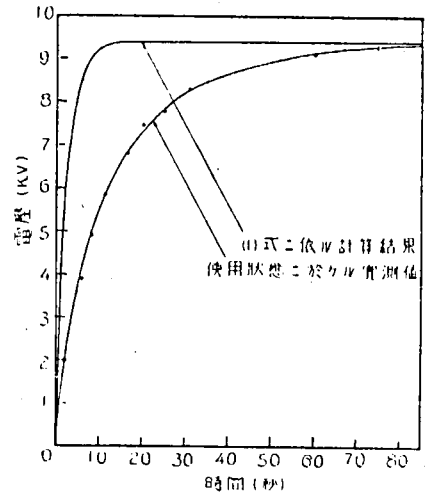
次に實際如何なる程度の充電時間を有するか實驗的に求めて見た。夫々圖中に之を示す。

茲に注意せねばならぬことは上記計算に示す結果は實際と相當な開きのあることである。その原因は第一に充電電源はケネトロンを使用せる片波整流回路であつて、電源電壓には相當脈流を含み、 $E$  は一定電壓



$$R_0=0 \quad r=1\text{M}\Omega \quad E=9.4\text{kV}$$

第 9 圖 充電電圧—時間曲線



$$R_0=1\text{M}\Omega \quad r=1\text{M}\Omega \quad E=9.4\text{kV}$$

第 11 圖 充電電圧—時間曲線

と見ることが出来ないことである。第二の原因は使用方法に依て決定するものであつて、實際衝擊電壓發生装置を操作する場合には、電源電圧  $E$  を一定に保ち置き、回路に繰返し間隔的に放電を行はしむるものであるから、この場合の一放電より次の放電までの時間を見掛けの充電時間と取ることゝせば、一放電に依て完全に蓄電器の端子電圧  $e$  は零とならずして相當量残留するを以て、各放電の間隔即ち茲に言ふ充電時間は著しく短縮せらる。前者の原因に依れば、充電時間は

延長さるゝを以て、この兩者は互に反對に働く譯である。第三の原因はケネトロン内部電壓降下に依るものである。

かく實驗は單なる直流印加としての計算値より相當隔りたる値を示すが

$$R_0=300\text{k}\Omega$$

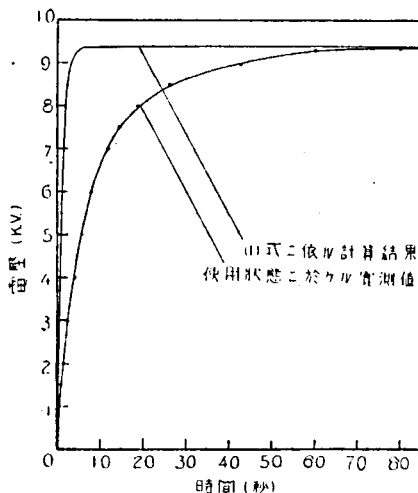
に取り充電時間を 100 秒にも取れば實用上充分充電さるゝことゝなる。

### 3. 抵抗體

充電用抵抗體としては同體抵抗を使用することも考へらるゝが、茲では  $r, r', r''$ , 何れもベークライト筒に、 $R_0$  はガラス筒に蒸溜水を入れ之を水道水と混合し、その抵抗値を何れも  $1\text{M}\Omega$  として用ひた。併し  $r, r', r''$  は次の諸點に著しい缺點を見出した。

- ① ベークライト筒が風化すること、
- ② 抵抗用電解液の爲ベークライト筒が腐蝕すること、
- ③ 電解液の蒸發すること、
- ④ 電解液の温度に依る抵抗値の變化、
- ⑤ 冬期に於ける電解液の氷結並に其の爲に起るベークライト筒の破裂、

この内①②③⑤は  $r, r', r''$  が屋外に設置さるゝに依るものである。上記の諸點を考へる時筆者の如き場合はむしろ棒狀同體抵抗の内より選定した方が良かったかも知れない。實際③④⑥の問題によりて甚しく悩まされた。



$$R_0=300\text{k}\Omega \quad r=1\text{M}\Omega \quad E=9.4\text{kV}$$

第 10 圖 充電電圧—時間曲線

## IV. 絶縁の問題

多段衝撃電圧発生装置に於ては段数と発生電圧とは比例し、従つて各蓄電器の大地に對する絶縁も段数に比例して増加せしめねばならぬ。使用蓄電器自體を絶縁臺の一部に兼用するが如く組立てれば、絶縁臺並に占有空間は僅少にて足りるも、之は大地に對して直立的に組立てられるため構造的に不安定を免がれない。従つて大地に對する分布容量増大の缺點あるにもかゝらず、多くの多段衝撃発生器は絶縁臺を階段狀に配置し、之の上に蓄電器を並べたる方式を取つてゐる。又絶縁臺としては屋内ならば絶縁處理されたる木材又は纖維質の材料にて充分なるも、屋外に設置さるゝならば碍子が最適であらうと考へる。

茲に述ぶる實驗裝置は屋外に設置されたため上述の各點を考慮して絶縁は日本碍子 LU 2100 型碍子に依り第2圖に示す如く階段上に組立てられてゐる。勿論晴天ならば、何等支障なきも雨天の時は屋外設置なるため碍子の表面漏洩大にして全く充電を行ひ得ない。此の點屋外設置の場合充分考慮すべき問題と考へる。

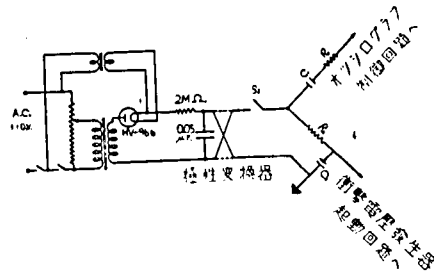
## V. 始動方法に関する實驗

## 1. 始動方法

衝撃電圧発生裝置の放電開始の瞬時は、操作者に依りて時間的に任意に制御し得る必要がある。特に電壓波形を陰極線オシログラフにて撮影せんとする場合、該オシログラフの動作と極めて密接精緻なる時間的關係を保たしめねばならない。此爲に取らるゝ方法は種々考へらるゝが、茲に採用した方法は、主衝撃電圧発生裝置の各蓄電器を所要の電壓まで充分に充電し置き、その間隙の内一つを笠井、只野兩氏の採用せる針端補助間隙を持ちたる始動間隙となし之に始動衝撃電壓を印加し之を始動せしめた。只筆者の場合は始動間隙が回路の都合上高壓側に入れざるを得ざる爲め始動時に始動衝撃発生回路に高壓が浸入し来る。依て下述の如く反撃防止回路を考案した。之により適切な始動を行はしむるを得た。

## 2. 始動衝撃の發生

始動衝撃電圧發生の爲には始動間隙中の補助間隙に火花を飛ばし、之が始動主放電を勵發するに充分であることを要す。この始動衝撃電壓の値は筆者の使用せる間隙にては大體 5,000 V もあれば充分であるので第12圖の如き始動衝撃電源を作り  $S_0$  にて衝撃を發生せしめ、その發生衝撃電壓の一部を陰極線オシログ



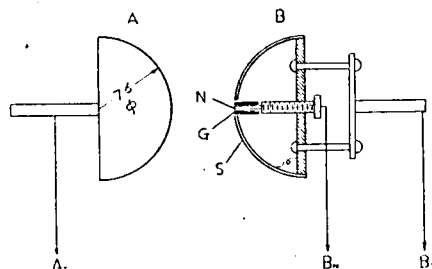
第12圖 始動用電源とオシログラフ並に主衝撃起動との關係

ラフの起動に用ひ他部を衝撃發生の起動に用ひた。 $C_0, R_1, C_2, R_2$  は夫々衝撃がオシログラフ並に衝撃電圧発生裝置に到る時間を制御する容量並に抵抗である。

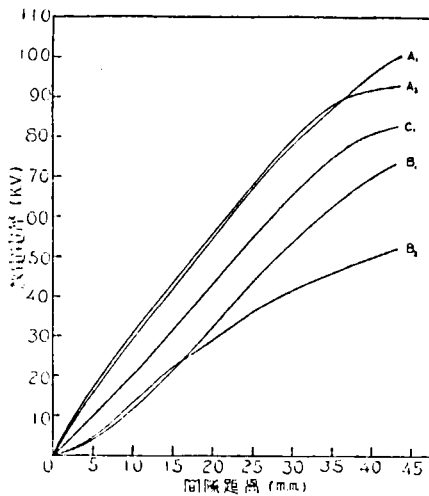
## 3. 始動間隙

構造を第13圖に示す。間隙の兩極  $A, B$  は同大の銅製半圓球であり、其の一方  $B$  は内部の構造が同示の如くであつてその半球  $S$  の中心に 1.7 mm 徑の小孔を供へ針  $N$  を内心に持つガラス管  $G$  を供へて  $N$  と  $S$  とを絶縁して居る。 $S$  及び  $N$  よりは夫々端子  $B_1, B_2$  が導出してあつて之に數千 V の電壓を印加するときは  $B$  の中心にて  $SN$  間に火花放電を行ふ如く作られてゐる。

斯の如き間隙の特性は第14圖に示す如く、 $AB$  兩半球間隙距離と放電電壓の關係は、 $N, S$  同電位としてその間に火花を生ぜしめざる時は  $A$  が正なる時の特性曲線として  $A_1, A$  が負なる時の特性曲線として  $A_2$  が得られた。然るに  $N, S$  間に始動衝撃発生器に依りて火花を生ぜしめたる時の最小火花電壓(放電率 100%)と間隙距離との關係は  $A$  が正るとき曲線  $B_1, A$  が負るとき同  $B_2$  を得た。之に依つて見るときは、例へば間隙距離と、衝撃發生直前の第一段目の



第13圖 始動間隙

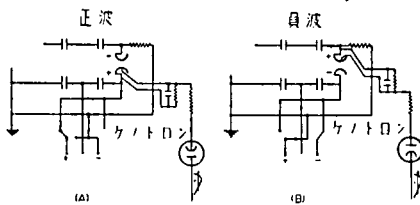


第14圖 始動間隔放電特性

蓄電器の充電電圧との関係を曲線 C の如く選ぶときは始動衝撃電圧を與へざる限り始動間隔は動作せず、一旦始動衝撃を與ふるや確實に始動を行ふことを知る。特に間隔大なる場合に對し A が負なるときこの性質が著しく表はれることを知つた。

#### 4. 反撃防止回路

筆者の用ひた衝撃電壓發生器は、第1圖に示した電氣的接續を有し構造上始動間隔は接地端に入れることを得ず。止むを得ず、第一段と第二段の間に入れた。之がため始動前又は後に於て高電壓が衝撃回路に浸入し來る。故に筆者は正波を出す時は第15圖 A の如



第15圖 反撃防止始動方式

く、負波の場合は第15圖 B の如く何れもケネトロンを用ひて主回路より始動回路への反撃を防止した。尚此の接續にあるときは、始動は何れも A 極負なるときに行ふを以て始動一層確實性がある特徴を有す。

## VI. 固有キャパシタンスとインダクタンス

衝撃電壓波形は回路常數に依て定まり、回路常數を調整することに依り任意の波形を現出せしめ得る。果して要求する波形を得たりやに就ては正確なる分壓器と陰極線オスシログラフの力に依らねばならぬが大體の波形は回路常數を知ることにより一般に計算に依り求めることが出来る。此の意味に於て先づ本器電壓發生器母體のキャパシタンス並に固有インダクタンスを求めた。

### 1. 主電氣容量 C と各蓄電器の電氣容量

茲に主電氣容量と言ふのは 0.2 μF と稱せらるゝ各單位蓄電器を20個全部直列に結びたる時の電氣容量を指すこととす。

蓄電器を衝撃動作時に接地側に近いものから順次に番號を付し、各番に相當する蓄電器のキャパシティーを1000サイクルの交流キャパシティブリツデにて別々に測定したところ第3表の値を得た。

從つて之等全部直列に取りたる時のキャパシティー C は

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots}$$

に依り計算すれば

$$C = 0.0102 \mu F$$

を得。

次に全蓄電器を全部直列とし、全放電間隔を短絡して、充電抵抗をその儘とし、制動抵抗、主放電抵抗並にインダクタンスは短絡し、主電氣容量を作り之と別に較正せる 1,189 μH のインダクタンスとを結合せしめ發振器を構成、UX 45 を使用し再生プレート結合發振を行はしめその波長を波長計に依り求め 6,625 m を得た。之より主電氣容量 C の値として 0.0104 μF

蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	0.207	0.201	0.212	0.211	0.211	0.190	0.211	0.184	0.207
蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	10	11	12	13	14	15	16	17	18
蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	0.190	0.188	0.212	0.202	0.202	0.197	0.204	0.211	0.212
蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	19	20							
蓄電 電 氣 容 量 番 號 (μF)	0.200	0.208							

第3表 各蓄電器の容量値



を得る。此の値は各蓄電器の容量を別個に求めて計算より見出したる上述の値と相違するも、之は後者が各蓄電器相互間並に大地に對する容量を有するために多少増大した結果を得たるためと見るべきである。

## 2. 漏洩インダクタンス

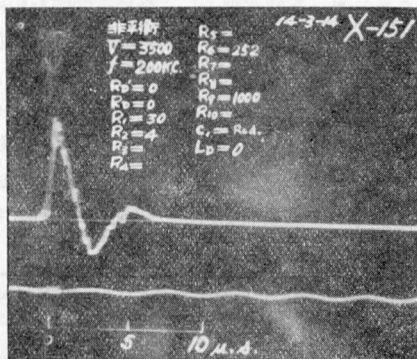
主衝撃電壓發生器母體の漏洩インダクタンスとは、全間隙、全蓄電器、主インダクタンス線輪、主放電抵抗、制動抵抗の全部を短絡せる場合、その母體の持つ放電回路のインダクタンスを指す事とする。

(a) 發振器を構成せしめ發生波の波長を測定することに依る測定

此の場合は主放電抵抗接地点に於て既知インダクタンス 1,189  $\mu\text{H}$  なるインダクタンスを本漏洩インダクタンスと直列に入れ、之をキャパシタンス 0.01  $\mu\text{F}$  なるコンデンサーと結合して上述と同様に發振回路を作り、その波長を測定することに依り漏洩インダクタンスの値を求めた。その結果は 56  $\mu\text{H}$  である。又参考のため、衝撃電壓發生器母體を構成する直角三角形と同等に等價電線(徑 1.2 mm 第4種線)を張り、そのインダクタンスを同様な方法により求めたるに 26  $\mu\text{H}$  を得た。

(b) 陰極線オシログラフに依る測定

主衝撃電壓發生器の放電抵抗を小さくして衝撃波形を振動性のものたらしめ、そのオシログラフを撮りたるに第16圖を得た。振動周期は 210  $\mu\text{s}$  なるを知る。之より主放電回路のキャパシタンスは既に測定せる如く 0.0104  $\mu\text{F}$  であるから、漏洩インダクタンスの値として計算により 55  $\mu\text{H}$  を得。

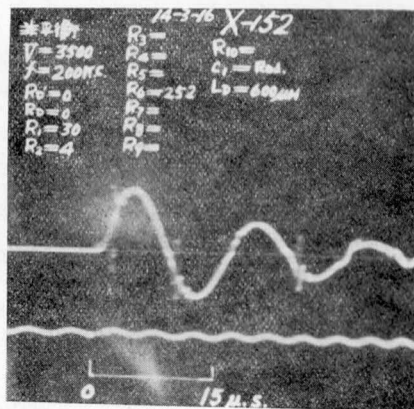


第16圖 振動周期(漏洩インダクタンスの測定)

上述 (a) (b) 二つの方法による測定結果は極めて良く一致して大體 55  $\mu\text{H}$  程度であることを知る。

## 3. 主インダクタンス

波形調整のため主放電回路に直列に入れる目的を以て筆者の實驗室に備付られたるインダクタンスコイルは線徑 7 mm の4種線を徑 60 cm, 長さ 94 cm 捲數 46回に捲き縦型としたものである。之に對するインダクタンスの値も上述と同様に測定せるに、上述 (a) の方法に依る時は主インダクタンスコイルのみに就ての値として 524  $\mu\text{H}$  を得たり。又 (b) の方法に依り主蓄電器と主インダクタンスコイルを以て振動回路を作



第17圖 振動周期(主インダクタンスの測定)

り、そのオシログラフよりインダクタンスの値を求めたるに 580  $\mu\text{H}$  を得たり。此の場合のインダクタンス値は主コイルのみの値では無く漏洩インダクタンスの値も含まれたること勿論なり。この場合のオシログラフは第17圖に示す如く、その振動周期は 65  $\mu\text{s}$  なるを知る。上記 580  $\mu\text{H}$  なる値は主放電回路のキャパシタンスを前同様 0.0104  $\mu\text{F}$  とせる場合の値である。

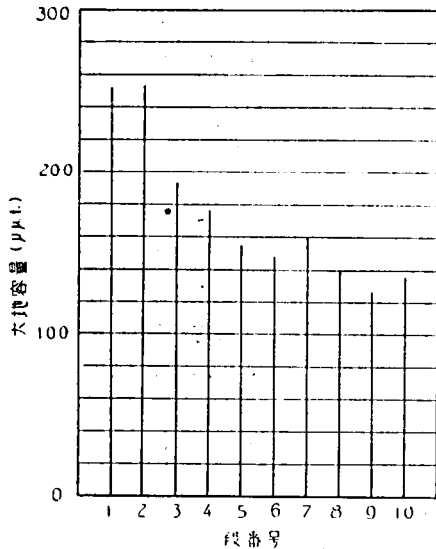
## 4. 漏洩キャパシタンス

發生器各部分は大地に對し漏洩キャパシタンスを持つ。このキャパシタンスは放電直後の各蓄電器臺の電壓分布を決定し、且漏洩インダクタンスの値と共に放電時の主衝撃波に重疊する高周波振動を起するものにして其の振動數を決定するため之に對する見當を付けるために、その測定は一應行つて置かねばならぬ。

之の測定も Tuned-Plate Tuned-Grid 回路の波長約 180 m の發振器を作り、その Plate 同調回路の蓄電器を標準可變蓄電器とし之に並列に供試容量を入れた場合標準蓄電器の讀みの減少値より測定せり。

既述の如く本裝置は20個の蓄電器が2個づゝ同様の

鐵臺に載せられ、何れも發生電壓に相當する絶縁が碍子を以て行はれてゐる。各蓄電器は何れも一端子は外函となり、同一鐵臺に乗りたる二個の蓄電器は外函に



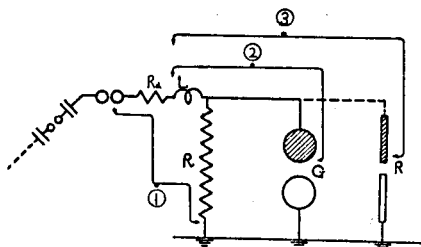
第18圖 衝撃電壓發生器各段大地電氣容量

て兩者接觸され、且その鐵臺とも電氣的に接觸してゐる。放電間隙を各 20 mm に調整せる場合この各鐵臺に就ての大地に對する容量は第18圖の如く得られた。

但し第1段の鐵臺に就てはその上の蓄電器の充電導線は取外して測定せり。此等の値は大概 200  $\mu\text{F}$  前後にて明に高電位にあるもの程容量の小となるを知る。

#### 5. 主インダクタンスの對地キャパシタンス

主インダクタンスコイルは碍子にて地上に支持せられて居る。今4項と同一の方法に依りそのキャパシタンスを測定せるに 90  $\mu\text{F}$  を得。(第19圖①参照)但

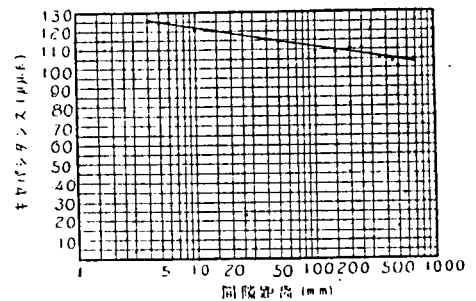


第19圖 球間隙並に棒間隙

し本キャパシタンスは主衝擊發生器の最上段放電間隙よりインダクタンスコイルに到る導線並にインダクタンスコイルより主放電抵抗に到る導線の大地キャパシタンスを含む。

#### 6. 球間隙のキャパシタンス並に試験間隙のキャパシタンス

第19圖に於て  $I, R$  は主放電回路、 $G$  は電壓測定用放電間隙  $R$  は棒試験間隙とすると、同圖②の部分の大地キャパシタンスとして  $G$  の各種の間隙距離に就てキャパシタンスを求めたるに第20圖の結果に見る如く 110  $\mu\text{F}$  程度なり。又同圖③のキャパシタン



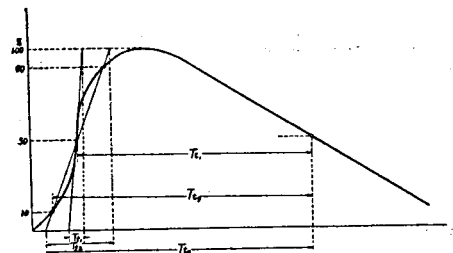
第20圖 球間隙キャパシタンス

スは  $G$  の間隙を 100 mm として  $R$  の間隙を 165 mm とせる場合 140  $\mu\text{F}$  となつた。此等の測定法は第4項と同様なり。

### VII. 波 形

#### 1. 標準波形

送電線に結合さるゝ各種の機器の衝擊試験に對してはその試験電壓は起り得べき最高の電壓に對し、又試験波形は起り得べき各種の波形に對して試験せねばならない。併し乍らこの内波形に關しては便宜のため各國工務委員會に於て夫々規定が作られてゐる。



第21圖 衝擊波形の定義

それは第4表に示す如くであり、表中記號は第21圖を参照されたい。

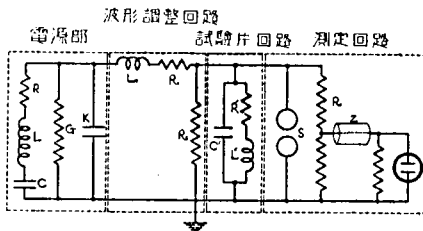
	波頭の長さ		波尾の長さ	
	記 號	$\mu\text{S}$	記 號	$\mu\text{S}$
V.D.E.	$T_{f1}$	0.5	$T_{t1}$	50
I.E.C.	$T_{f2}$	1.0	$T_{t2}$	50
A.I.E.E.	$T_{f3}$	1.5	$T_{t3}$	40
J.I.E.E.	$T_{f3}$	1.0	$T_{t3}$	40

第4表 各國標準波形

我國に於ては、衝擊電圧標準波形として、 $\text{DGK-106 (2604)}^{(4)}$ の中に規定して居るが、これは第4表にも併記せるとく波頭の長さ  $1.0 \mu\text{S}$  波尾の長さ  $40 \mu\text{S}$  とし波頭の長さは  $0.5 \mu\text{S}$  より  $2 \mu\text{S}$  まで、波尾の長さは  $35 \mu\text{S}$  より  $50 \mu\text{S}$  までのものにて差支へないことが規定されてゐる。茲に波頭の長さは波頭に於て電壓の最大値の10%と90%との間の時間を0.8にて除したる時間を以て表はし、波尾の長さは波頭に於て電壓最大値の90%と10%とを結ぶ直線が時間軸と交る點より電壓が波尾に於て最大値の50%に下る迄の時間を以て表すことゝされてゐる。

## 2. 回路常數決定に用ひらるゝ等價回路

衝擊試験のため用ひらるゝ衝擊電壓發生装置は集中常數と分布常數との複合回路よりなるも今簡單の爲全回路を第22圖の如く等價的に置いて考へても充分であらう。衝擊發生時の火花の抵抗は之を無視す。



第22圖 衝擊電壓發生器等價回路

圖に於て

- $C$  は衝擊電壓發生器の主蓄電器
- $G$  は充電抵抗及び其他の蓄電器の漏洩
- $L$  は衝擊電壓發生器部の固有インダクタンス
- $R$  は " " 固有抵抗
- $K$  は高壓側端子の對地容量

波形調整回路の

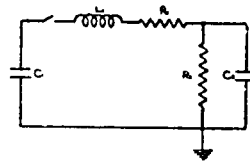
$L_1 R_1$  は何れも夫々波頭長を主として調整するための抵抗

$R_2$  は波尾長を調整する抵抗である。

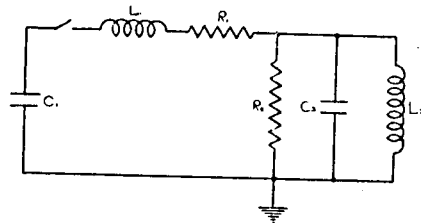
又試験片回路に於ては  $C'$  が試験片の等價容量であり、 $R', L'$  は試験片が例へば變壓器の如き場合の抵抗、インダクタンスを示す。

併し本圖の如き回路に關し發生波形的理論的算出は不可能に近い。故に實用的見地より各部分の常數を更に大膽に無視して負荷の種類により第23圖、第24圖の2種の等價回路を用ふことが良い。第23圖は碍子、套管、間隙等容量負荷の場合であり、第24圖は變壓器の如き容量、誘導兩負荷の場合なり。

第23圖、第24圖に於て何れも  $C_1$  は主蓄電器、 $L_1$  は全直列インダクタンス、 $R_1$  は全直列抵抗、 $R_2$



第23圖 容量負荷の場合の等價回路



第24圖 容量誘導兩負荷の場合の等價回路

は並列抵抗、 $C_2$  は被試験物並に測定装置のキャパシタンス  $L_2$  は被試験物のインダクタンスである。之等の回路ならば計算に依り波形を求むることが出來、又與へられたる波形に對する常數の決定も出来る。

## 3. 波形調整の方法

供試電機器の端子に任意の波形的の衝擊電壓を加ふるには如何にするか。それには衝擊電壓を發生すべき發生器と供試物との複合回路に於て丁度要求されたる波形が供試端子に表はるゝ様回路常數を撰定すればよい。之には2つの方法がある。

- (1) 回路の既知常數を基礎として計算に依り回路各部の電氣常數を決定する方法

## (2) 適當なる波形測定装置により實驗的に回路各部の電氣常數を決定する方法

第1の方法は衝擊電壓發生器と之に結合されたる供試物とに關して電氣的に、インダクタンス、容量、抵抗を以て等價回路を考へ、與へられたる波形條件を充すべき回路常數の價を計算によりて求むるのである。第2の方法は全く實驗的に cut and try により回路常數を變更調整しつゝ、與へられたる條件に適する波形が表はれ居るや否やに就て波形測定装置により觀察するものである。

第1の方法は可成計算が面倒である。實際の回路は分布容量、漂遊インダクタンス等の影響が入り亂れて等價回路は相當大膽なる假定の下に考へられねばならぬ。従つてこの方法に依り波形を決定することは困難と考へねばならぬ。又第2の方法は全く實驗的に行ふとすると種々の變化し得る常數あるため相當計算的根據或は回路常數變更により波形變化の傾向の大體を知り置かねば全くの cut and try では波形調整は至難となる。

依て第1の方法によつて可成實際に近い等價回路の下に計算を行ひ常數の大體の値を決定しこの値に回路の各常數を調整し、然る後第2の方法に従つて各部の常數を要求波形に適合する様一層精確に決定するが最も妥當である。

次に斯くの如くして第2の方法に依り精細な波形決定を行ふにあつても波形測定器が問題となる。波形測定には一般に分壓器と高電壓陰極線オシログラフとを以て行ふが、今日の陰極線オシログラフの技術の程度に於てはその波形測定は可なり手数を要する。簡単に實驗的に常數決定を行ふ方法として G. E. で行はれ始めた Transient Analyser あり。之は使用衝擊電壓發生器及び供試物よりなる回路の等價回路を低電壓回路の下に組立て、之に低電壓の衝擊を起さしめ、その衝擊を例へば毎秒60回繰返さしてブラウン管に依り觀察する方法である。低電壓に於ける常數と高電壓に於ける電氣常數とが相違することは屢々我々の經驗する所であるが、今假に之が無く、低電壓に於ける試験結果が電壓に比例的に高電壓に於ける回路常數をその儘決定すると見ても、既にその等價回路の設定が上述の如く相當の假定に立脚したものなる故第1の方法による計算の手数は省かれるとしても、尙實際とは一致するや否や疑問である。

依て陰極線オシログラフに依る波形觀察はかなり面倒であるといふ見地から、使用衝擊電壓發生器の充電

側から、ブラウン管オシログラフを働かせしむるに充分な電壓例へば 1,000 V 程度の電壓を繰返し衝擊的に加へ（衝擊電壓發生器の各放電間隙は短絡する）供試物端子にブラウン管オシログラフを挿入してその波形を見て波形調整を行ふ方法が信頼するに足る結果を與へる様考へられる。

而して最後に高壓陰極線オシログラフに依り眞の波形を確かめればよろしい。

以上論述せるところに依り今日もつとも完全便宜なる波形調整は下記の順序に行はれるを可とす。

1. 大體の等價回路を考へ計算に依り各部の常數を與へられたる波形に對して決定。
2. 1に依りて決定されたる常數を有する低電壓等價回路を組立て之に繰返し衝擊を與へブラウン管オシログラフにて觀察し、更に各常數を與へられたる波形條件に適する様詳細に決定。
3. 2に依りて決定されたる常數に實際の發生器、供試物の常數を等しくなる様衝擊電壓發生器の調整を行ふ。
4. 充電側より繰返し低電壓衝擊を加へブラウン管オシログラフにて波形觀察を行ひ更に精密に各部常數を調整する。
5. 大體4にて充分なりと考へらるゝも、更に實際試験すべき高電壓を衝擊發生器に依り發生せしめ實際狀態の下に陰極線オシログラフにより波形を撮影、之に依り更に一層詳細なる波形調整を行ふ。

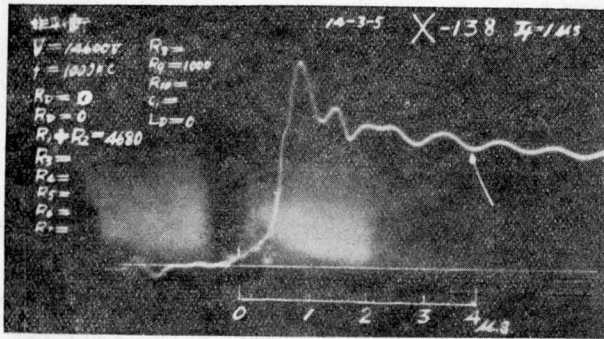
## IIIX. 高周波の重疊に關する考察

### 1. 波頭に於ける高周波重疊

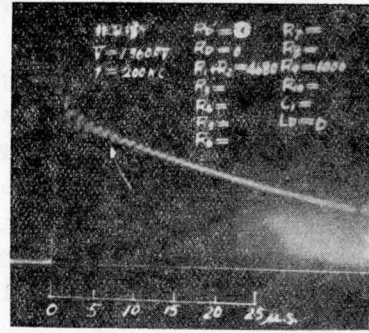
衝擊電壓波は放電初期即ち波頭に於て複雑なる高周波の重疊を見る。此の原因は何によるか。筆者の使用せるが如き多段衝擊電壓發生器はエネルギー大、且電壓高きため占有面積大となり爲に對地容量が大となると同時に各段間にも可成大なる容量を有することゝなる。同時に回路は相當な漂遊インダクタンスを持つ故に發生装置は單純な  $L, C, R$  の集中回路と見做し得ない。極部的に複雑なる振動回路を作り高周波發生の原因となると考へられる。

### 2. 高周波重疊の實際

第25圖(A)(B)は筆者の衝擊電壓發生装置に於て撮影されたオシログラフであつて、發生器回路には制動抵抗を入れず、主インダクタンスコイルは短絡、主放電抵抗は 4,680  $\Omega$ 、負荷としては球間隙、棒間隙、

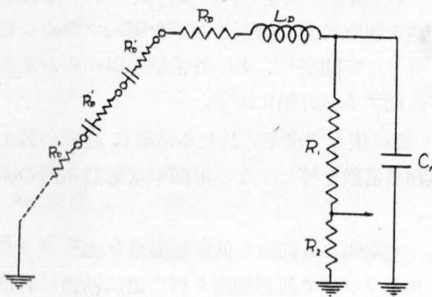


(A)

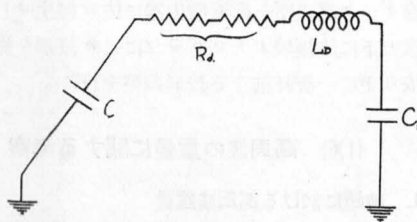


(B)

第25圖 高周波振動を重疊せる衝撃波



(A)



(B)

第26圖 高周波振動の重疊原因

並に懸垂碍子を並列に入れて居る。1,100 kC/sec. の高周波重疊を認む。

### 3. 振動原因に對する考察

上述の如く重疊高周波のすべての原因を、等價回路を考察して數理的に出すは至難と考へらるゝも、負荷容量に原因する高周波に關しては次の如く考へることが出来る。即ち第26圖(A)の如き衝撃電壓發生回路に於ては、衝撃開始の初期には  $R_1$  は高抵抗なるを以て第26圖(B)の如く書き得らる。然るに斯の如き回路の振動限界は次の條件に依りて決定す。

$$R_d = 2\sqrt{\frac{L_d}{C_0}}$$

茲に

$$C_0 = \frac{CC_1}{C+C_1}$$

而して振動状態に於ける高周波の振動数は、

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d C_0}}$$

と考へられる。

然るに  $L_d$  は既に求めたる漂遊インダクタンスであつて 55  $\mu$ H であり負荷容量  $C_0$  は實測により 400  $\mu$ F 程度であるから

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{55 \times 0.0004}} = 1,100 \text{ kC/sec.}$$

を得。従つて  $R_d$  充分大ならざる時は此の周波数の高周波が重疊することゝなる。

而して此の周波数はオシログラフに依り實測せるものと良く一致するに依り上述の重疊高周波は全く容量負荷  $C_0$  に依るものでこの  $C_0$  が  $L_d$  と結合して生ずる振動と考へて可なり。

### 4. 振動重疊の除去

振動重疊を除去するには上述に従ひ振動限界以上の  $R_d$  を挿入すれば可なり。筆者の場合に於て無負荷の  $C_0$  の値が 100  $\mu$ F 程度で  $L_d$  は 55  $\mu$ H であるから

$$R_d = 2\sqrt{\frac{L_d}{C_0}} = 2\sqrt{\frac{55 \times 10^{-6}}{100 \times 10^{-12}}} = 1,500 \Omega$$

も必要とすることゝなる。然し實際は 800  $\Omega$  位で充分であることをオシログラフより確めた。尙實際には此  $R_d$  は1ヶ所に集中せず各蓄電器の間に分布して 100  $\Omega$  づゝ合計9個を挿入し 900  $\Omega$  として使用しつゝあり。

## IX. 結 言

以上本文に於ては、當研究室に衝撃電壓實驗の爲に備付けられたる 1,000 kV 衝撃電壓發生裝置の特性に就て述べた。

特に充電の問題、絶縁の問題、起動方法に對する筆者の考案、並に其固有電氣常數に關して検討し、更に波頭附近の高周波の重疊に關して論及し、其原因を明

となし、振動除去の方法に就て述べた。今後本裝置の活用上役立つ事と思ふ。

## 参 考 文 献

- (1) 新宮：電學誌 55 853 (昭10)
- (2) 新宮、庄司：電試彙報 475 9月 (昭12)
- (3) 笠井：陰極線オシログラフ p. 51
- (4) 電學誌、66 12 (昭)

## 附 録

本文に記載を省略せる部分に關し以下附録す。

## 等率充電方式に對する考察

## 1. 序 言

筆者の現用せる衝撃電壓發生器は、前述の如く充電抵抗は總てベークライト製圓筒内に入れたる電解液に依つた爲、寒暑に對する使用障害多く、實用上可なり不便である。故に是等充電抵抗を上記の障害が絶無なるものに改良せんと目的を以て、ニクロム線を素焼磁器圓筒の外側に巻き付け、珪璃引とせるものに取換ふる事とした。然るに筆者の使用せる衝撃電壓發生裝置は並列充電方式のものであるから、1個の蓄電器の充電抵抗を  $2\text{ M}\Omega$  に取ると全體にて  $30\text{ M}\Omega$  の抵抗を必要とする。勿論充電時間を大にする目的のみならば本文第1圖の充電抵抗  $r, r', r''$  の値を小とし、 $R_0$  の値のみ大とすれば目的を達するが、 $r, r', r''$  の値を小とする時は、高壓側から見たる衝撃電壓發生裝置の實効抵抗が低く、波尾の長い電壓波の發生が困難となる。依て此程度の充電抵抗は大體必要なる値である。然るに經濟上ニクロム線を以て  $30\text{ M}\Omega$  を作るには相當の費用を必要とする。依て經濟的見地から、使用抵

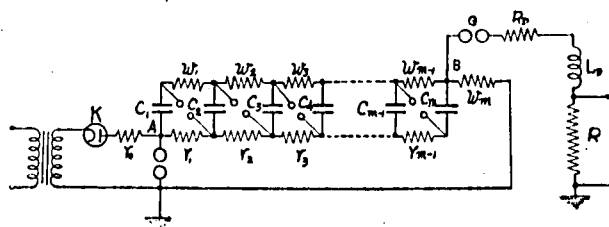
抗線を可及的に小にするために、直列充電方式の採用を試みる事とし、其場合の所要各抵抗値の計算を行つた。

本文は直列充電方式の場合の等率充電の條件を記し、この條件を満たすが如き充電方式改作に對する對策條件を明にせるものなり。

## 2. 等率充電の條件

直列充電方式の缺點は各蓄電器の充電率が一樣でない事である。そこで新宮氏の提案せる如く、高壓側よりも充電する第1圖の如き方式に依て等率充電を行はしめる事とする。圖に於て  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_m$  は充電すべき蓄電器で、ケネترون並に抵抗  $r_0, w_m$  を通じて充電を行ひ、間隙  $G$  を通じて  $R_D, I_D, R$  に所要の衝撃波を得んとするものである。

今各蓄電器の等率充電の條件を求めんとするに、等率充電の場合には、任意の瞬時に於ける各蓄電器の端子電壓  $e$  は總て相等しく、又蓄電器個々の充電電流  $i$  も亦總て相等しい。今  $AB$  間の電壓を  $E'$  とし、 $n$  番目、 $n+1$  番目の蓄電器の端子電壓を夫々  $e_n, e_{n+1}$  とする時は、



第1圖 等率充電方式

$$E' - e_n = \{r_1(m-1) + r_2(m-2) + \dots + r_{n-1}(m-n+1) + w_{m-1}(m-1) + w_{m-2}(m-2) + \dots + w_n n\} i$$

$$E' - e_{n+1} = \{r_1(m-1) + r_2(m-2) + \dots + r_{n-1}(m-n+1) + r_n(m-n) + w_{m-1}(m-1) + w_{m-2}(m-2) + \dots + w_{n+1}(n+1)\} i$$

然るに等率充電の爲には

$$e_n = e_{n+1}$$

でなければならぬから、邊々相等しと置けば

$$r_n(m-n) = w_n n$$

$$\frac{w_n}{r_n} = \frac{m-n}{n} = \frac{m}{n} - 1 \dots \dots \dots (1)$$

之即ち求むる等率充電の條件である。

### 3. 電壓均等分配の條件

又、各區間の電壓即ち  $r, w$  にかゝる電壓値が總て同一で全電壓  $E'$  が等率に各抵抗器にかゝる爲には、

$$r_n(m-n)i = r_{n+1}(m-n-1)i$$

$$\frac{r_{n+1}}{r_n} = \frac{m-n}{m-n-1} \dots \dots \dots (2)$$

従つて

$$r_1(m-1) = r_2(m-2)$$

$$r_2(m-2) = r_3(m-3)$$

.....

$$r_{n-1}(m-n+1) = r_n(m-n)$$

邊々相乗すれば

$$r_1(m-1) = r_n(m-n)$$

$$\frac{r_n}{r_1} = \frac{m-1}{m-n} \dots \dots \dots (3)$$

又

$$\frac{w_n}{r_1} = \frac{w_n}{r_n} \cdot \frac{r_n}{r_1} = \frac{m-n}{n} \times \frac{m-1}{m-n} = \frac{m-1}{n} \dots \dots \dots (4)$$

### 4. 筆者使用の衝撃電壓發生器への應用

筆者現用の本文第1圖に示す如き衝撃電壓發生器に上に求めたる方式を採用せば第2圖を得る。

何れも筆者現用の本文第1圖に示す如き充電電源を用ふる時は、大地、50kV 母線間並に 50kV 100kV 母線間は別々に半波に依て充電せられるから全く別の回路と考へて宜しい。又筆者本文の如き配置の蓄電器を充電する時は、左右蓄電器を別々に並列に充電を行ふ事が構造上餘儀なくされる。従て

$$m=5$$

と考ふべきで、唯  $E'$  は左右蓄電器の充電に共通に働く點に注意しなければならぬ。又第1圖  $r_0$ 、及び  $w_m$  に就ては第2圖  $r', E'$  の間に

$$r_0 + w_m = r' + 2E' + 2w'$$

なる關係あり。

$m=5$  なる場合に就て、上述の等率充電の條件、並に電壓均等分布の條件を充さしむる時は(1)(3)(4)式より第2表を得る。

$n$	$w_n/r_n$	$r_n/r_1$	$w_n/n$
1	4	1	4
2	1.5	1.33	2
3	0.67	2	1.33
4	0.25	4	1
5	—	—	—

第2表  $m=5$

故に

$$\begin{cases} \frac{1r_2}{1r_1} = \frac{2r_2}{2r_1} = \frac{3r_2}{3r_1} = \frac{4r_2}{4r_1} = 1.33 \\ \frac{1r_3}{1r_1} = \frac{2r_3}{2r_1} = \frac{3r_3}{3r_1} = \frac{4r_3}{4r_1} = 2 \\ \frac{1r_4}{1r_1} = \frac{2r_4}{2r_1} = \frac{3r_4}{3r_1} = \frac{4r_4}{4r_1} = 4 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{1w_1}{1r_1} = \frac{2w_1}{2r_1} = \frac{3w_1}{3r_1} = \frac{4w_1}{4r_1} = 4 \\ \frac{1w_2}{1r_1} = \frac{2w_2}{2r_1} = \frac{3w_2}{3r_1} = \frac{4w_2}{4r_1} = 2 \\ \frac{1w_3}{1r_1} = \frac{2w_3}{2r_1} = \frac{3w_3}{3r_1} = \frac{4w_3}{4r_1} = 1.33 \\ \frac{1w_4}{1r_1} = \frac{2w_4}{2r_1} = \frac{3w_4}{3r_1} = \frac{4w_4}{4r_1} = 1 \end{cases}$$

今  $1r_1 = 2r_1 = 3r_1 = 4r_1 = 50,000 \Omega$  に採るとせば、

$$1r_1 = 2r_1 = 3r_1 = 4r_1 = 50,000 \Omega$$

$$1r_2 = 2r_2 = 3r_2 = 4r_2 = 66,500 \Omega$$

$$1r_3 = 2r_3 = 3r_3 = 4r_3 = 100,000 \Omega$$

$$1r_4 = 2r_4 = 3r_4 = 4r_4 = 200,000 \Omega$$

$$1w_1 = 2w_1 = 3w_1 = 4w_1 = 200,000 \Omega$$

$$1w_2 = 2w_2 = 3w_2 = 4w_2 = 100,000 \Omega$$

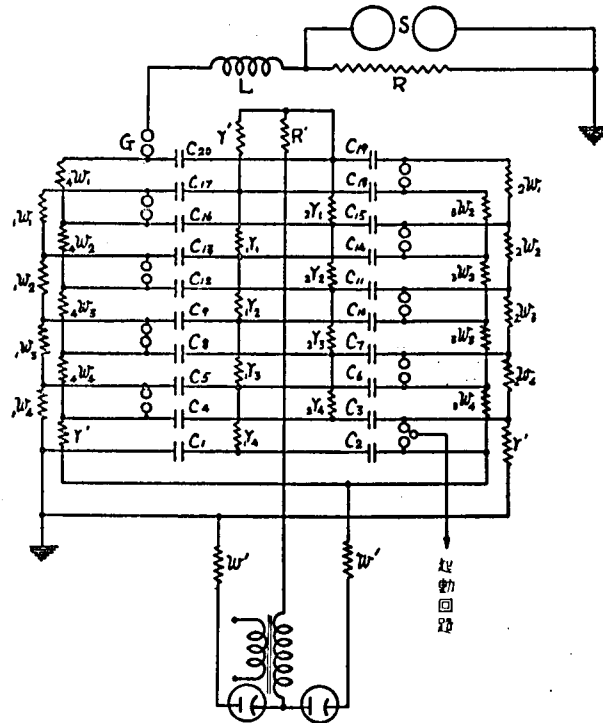
$$1w_3 = 2w_3 = 3w_3 = 4w_3 = 66,500 \Omega$$

$$1w_4 = 2w_4 = 3w_4 = 4w_4 = 50,000 \Omega$$

となる。

### 5. 充電速度

第2圖に示す如き回路の充電速度を求むるに、等率充電の條件を充したるものとし、各蓄電器の容量を總て  $c$  とし、其端子電壓を  $v$ 、電源電壓を  $E$  とする時は、



第 2 圖 等率充電方式による結線

$$v = E \left( 1 - \varepsilon^{-\frac{t}{m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n}} \right),$$

此時の各蓄電器の充電電流  $i$  は

$$i = \frac{E}{\left[ m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n \right]} \varepsilon^{-\frac{t}{m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n}}.$$

従て、充電速度は  $r_0$  又は  $v_m$  を加減するのみにて充分加減し得るゝ事となる。

各蓄電器の電圧  $v$  が  $E$  の 63.2% になるまでの時間  $t_0$  は、

$$t_0 = \left[ m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n \right] C$$

を得。筆者第 2 圖の場合には

$$C = 0.2 \mu\text{F}, \quad m = 5$$

であり

$$\sum_{n=1}^{m-1} n w_n = w_1 + 2w_2 + 3w_3 + 4w_4 \\ = 200,000 + 20,000 + 20,000 + 20,000 \Omega$$

$$= 0.8 \text{ M}\Omega$$

$$R' = 1 \text{ M}\Omega$$

$$w' = 300 \text{ K}\Omega$$

$$r' = 100 \text{ K}\Omega$$

とせば、

$$r_0 + v_m = r' + 2R' + 2w' = 2.7 \text{ M}\Omega$$

$$\therefore t_0 = [5 \times 2.7 + 0.8] \times 0.2 = 2.86 \text{ 秒}$$

となる。實際如何なる充電時間を持つかは實驗に俟たねばならないが、本文に記載せる如く、實際は電源の性質上更に充電時間は長くなるものと考えねばならない。

## 6. 初期充電電流

電源の容量は  $t=0$  に於ける初期充電電流に依て決定するを以て、其電流値を求めると、

$$i = \frac{E}{\left[ m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n \right]}$$

依て初期電源電流  $I$  は

$$I = \frac{10E}{\left[ m(r_0 + v_m) + \sum_{n=1}^{m-1} n w_n \right]}$$

各數値を入れるゝ時は

$$I = \frac{10 \times 50,000}{(5 \times 2.7 + 0.8) \times 10^6} = 35 \text{ mA}$$

となり、現用充電電源にて充分なるを知る。



## 7. 結 言

筆者現用の衝撃電圧發生器に對し、直列充電方式を採用せる場合、等率充電、電壓均等分布の條件の下にては、第2圖に示す回路を使用し、其各抵抗値は4.に於て述べたる値に撰ぶと宜い。此値は電源容量の點よ

りも好適と思はれる。

## 附 録 文 献

- (1) 新宮：電學誌 55 853 (昭10)

# 第三章

## 衝撃電壓測定用としての 陰極線オスシログラフに関する實驗的研究

### 内 容 梗 概

本文は、高電壓過渡現象測定用として、筆者の實驗室に備付けられた二素子高壓陰極線オスシログラフの組立、構成、操作等に関する實驗的研究報告にして、先づ、第 I 節に於て、陰極線オスシログラフの取扱の困難なる事、並に我國に於ける發達の沿革を述べ、本文發表の意義に就て言及せり。

第 II 節に於て、實驗に使用せる陰極線オスシログラフの母體に關し其構造の概要を述べ、

第 III 節に於て、母體の排氣に關し排氣ポンプ、接合方法及び排氣不良に關する諸問題を筆者の經驗を基礎として技術的立場より述べ、

第 IV 節は、陰極線の發生と題し、筆者の採用せる高電壓印加低壓瓦斯放電を利用せる陰極線發生方式に關し、陰極高壓電源、放射管、及び眞空調節の方法を述べ、更に陰極線を安定に放出せしむべき諸條件に關して論議せり。

第 V 節に於て、陰極線集中に關し筆者の採りたる方法を記述し、

第 VI 節は二素子化と題し、二素子化方法として分制式を採用せる事及び其具體的方法、並びに二素子の場合に於ける光點輝度調整方法を述べ、次に二素子となす事に依る測定誤差に就て計算を行ひ、兩陰極線の相互電磁作用の僅少なる事を證明せり。

第 VII 節は偏位感度に就て論議し、且放電管電流に依る感度變化の存在を實驗的に認めたる事を記述せり。

第 VIII 節は、現象電壓偏位校正、時間偏位校正の實際的方法、並びに電壓時間同時校正の方法に就て述べたり。

第 IX 節は、撮影用寫真乾板に就き述べ、

第 X 節は、掃引操作と題し、筆者の行ひ居る時間掃引、先偏位、並に其等の間の時間的制御の方法を述べたり。

第 XI 節は、配電盤に就て記し、

第 XII 節は、本器を用ひて過渡現象を撮影する場合に採るべき方法に就て述べ、更に二三の實例を示せり。

第 XIII 節に於て、今後の本器に關する指嚆を與へて結言とせり。

### I. 緒 言

超高速度用又は過渡現象用高電壓陰極線オスシログラフに關する研究は、我國に於ては既に幾多の先輩に依て行はれた。就中、理化學研究所の渡邊俊平氏、電氣試驗所の笠井完氏、並びに旅順工大の大河内重助氏の御研究に於ては、夫々獨自の立場から之が改良に活用<sup>(1)</sup>に新しき分野を開拓された事は、敬服特記せねばなるまい。之と並行して製造家側に於ては、横河電機、日立製作所、相續いて商品として市場に之を供給し、傍ら自作の陰極線オスシログラフが何れも其工場、研究室に活躍するの機運に立到つた。

併し、過去の経過に徴するに、陰極線オスシログラフを使用せざる可からざるが如き研究に於て尙且之が充分利用されざる状態であり、又利用されんと努力し

つゝも満足なる結果を得難く、

使ひこなすには非常な勞力と經驗とを必要とする事は斷言して差支へないであらう。事實既に輸入品及び上記諸製造家に依り作られたるオスシログラフは我國に於て相當多數にのぼり、各方面の研究所、工場、試験所に本器の普及を見て居る次第であるが、實際之を充分活用し其機能を發揮せしめて居る處は、十指を屈するに足らず、其使用法の困難、取扱の煩雜の爲放置されあるもの多きが現状である。本器の如き新銳武器が自由に各人に使ひこなされるまでには尙本器自體として種々改良考案する可き餘地があらうと考へらるゝ次第である。

筆者の實驗室に於ても夙に本器が備付けられてあつたが、

衝撃電壓波形測定の目的から

使用實驗を行つた。處が使

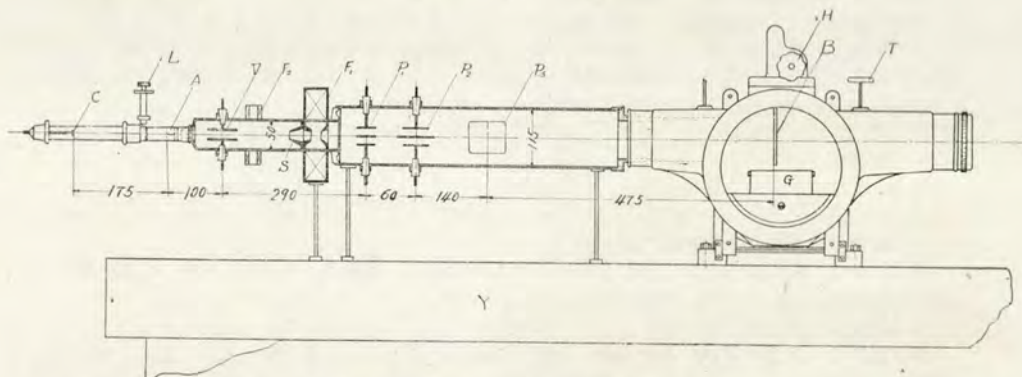
用して見ると、備付けられた本来のまゝでは、上述の如く色々の缺點が判明し來り、充分な測定能力を擧げ得ない事が次第に明となり、以來筆者の實驗室に於て出來得る限り改良を加へて、且其使用法に習熟して今日に到つた次第である。本文は筆者の本器活用に到る経過報告と言ふ可く、今後本器を設計又は使用するゝ向に對しての一參考資料となる目的を持つ。

## II. 實驗に使用せる陰極線 オスシログラフの概要

實驗に使用せる陰極線オスシログラフは、高速度過渡現象撮影の目的から、内部撮影、冷陰極、二素子型であつて、其構造を第1圖に示す。

圖に於て、*A* を陽極、*C* を陰極として、*AC*間に低氣壓放電を行はしめ、*A* の中心小孔より陰極線を取り出して居る。*A* を出でたる陰極線は高度に排氣せられた母體內を通り、螢光板 *B* 上に其焦點を結ぶ。其間陰極線は *A* を出れば直ちにカブリ防止用先偏位板 *V* を通り、現象撮影の瞬時以外は *V* に印加されたる電壓

第 1 圖



陰極線オスシログラフ母體構造

第 2 圖

陰極線オスシログラフ全裝置



- A: 排氣用回轉油ポンプ
- B: 高壓變壓器
- C: 排氣用水銀擴散ポンプ
- D: 母體
- E: 時間掃引裝置
- F: 始動衝擊發生裝置
- G: 試驗用小型衝擊電壓發生裝置
- H: 高壓平滑用蓄電器



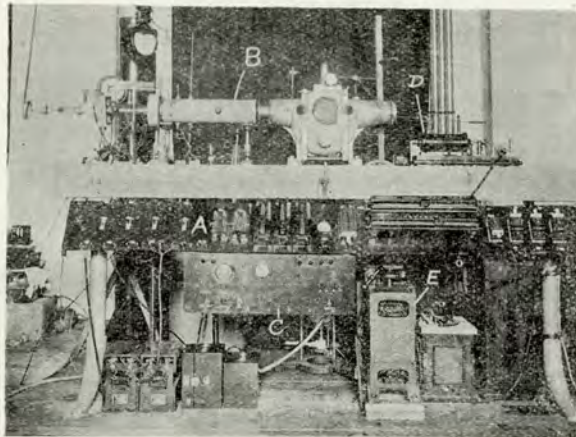
に依り陰極線を先偏位遮孔  $S$  以下に射出せざる様に構造されて居る。次に偏位板  $P_1$  に依り二素子化され、かくて上下二本の陰極線は夫々個々の現象偏位を  $P_2$  の上下二組の偏位板に依り受け、更に進んで  $P_3$  に依り共通の時間掃引を受く。 $F_2$  は焦點位置調整用コイル、 $F_1$  は焦點用集中コイルである。 $L$  は眞空調節器、 $H$  は螢光板と寫眞乾板との入換へに用ひらるゝハンドル、 $T$  は眞空検査用放電管、 $G$  は寫眞乾板入箱、 $Y$  は臺である。

元來本器は横河電機製二素子オスシログラフ一枚の乾板に表裏両面から夫々現象づゝ撮影して二素子化せるもの一を一方側のみ取り、之を笠井氏の分割板方式に依て二素子化せるものなり。

本母體に附屬して陰極線發生用高壓電源、排氣裝置時間掃引裝置等がある。之等は大部分筆者の實驗室に於て自作せり。第2圖は之等全裝置を示し、第3圖は母體並に配電盤を示す。

第 3 圖

陰極線オスシログラフ母體並に配電盤



- A: 配電盤
- B: 母體
- C: 時間校正用發振器並に二素子電源
- D: 眞空検査用誘導線輪
- E: 高電壓調整用電壓調整器

### III. 母體の排氣

茲に述べるが如き内部撮影型陰極線オスシログラフに於ては、母體の眞空は勿論極力良好なることを必要とするが、同時に寫眞乾板の取換、放射管の清掃の爲には、一々内部に空氣を入れねばならない。しかもオスシログラフ母體は、陰極線の發生、偏位、寫眞撮影

操作等をなす必要から、構造極めて複雑となり、從つて組立上接合すべき部分の極めて多い被排氣體となる。

故に一般に充分周到なる注意と富豐なる經驗とを以て行はねば、満足な結果を得難い。筆者は下記諸條件の下に排氣を行ひ、約20分後には充分に使用し得る状態に達せしめてゐる。

#### 1. 排氣ポンプ

母體の排氣は少くも 1/1,000 mm 水銀柱位になることを要す。更に之以上眞空良好ならば、更に良好なる陰極線を得らる。この爲に普通は回轉式ポンプを補助ポンプとし、擴散式ポンプを用ひて排氣してゐる。

この内回轉式ポンプは排氣速度早く、且到達眞空度のよろしきもの程良い。擴散ポンプの速度並に達成眞空度をあげる意味からもなるべく強力なる回轉式ポンプの使用が望ましい。回轉式眞空ポンプとして筆者は島津製作所製 810 型メガバツク 眞空ポンプを採用した。

第1表の如き仕様を有す。

第 1 表

回轉式眞空ポンプ仕様

到達眞空度	0.001 mm 水銀柱
排氣速度	55立毎分
所要動力	1/2馬力
回轉數	500回轉毎分
油量	3立

本器の實際の排氣状態を實驗せるに擴散ポンプと直列にしてオスシログラフ母體に接續し、母體の眞空調節器を密閉し擴散ポンプを休止の状態に置いて、大體20分間にて眞空度 0.01 mm 水銀柱には充分到達し得たり。

擴散ポンプとしては油式、水銀式あり、油式は到達眞空度並に速度に於て遙に水銀式を凌駕す。然し取扱面倒なる缺點がある。殊に陰極線オスシログラフの如く、絶えず乾板を出入せしめるため眞空を破る如きものに於ては、特別の眞空栓を供へ之を保護せねば油の酸化早く使用に耐えない。然るに眞空栓を使用することは、排氣の道程を複雑とし排氣速度を減じ且漏洩の原因と成るから望ましくない。この意味に於て、筆者等は水銀鋼製四段式のものを使用せり。下記の仕様を有す。



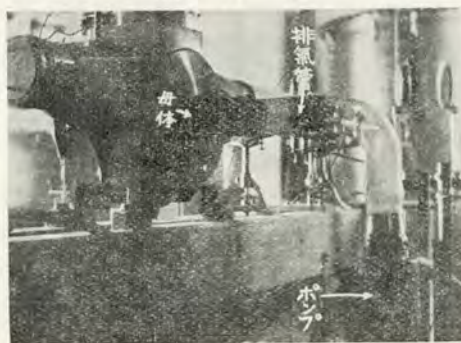
第 2 表  
水銀擴散ポンプ仕様

排 氣 速 度	15立毎秒 ( $10^{-3}$ mm 水銀柱)
補 助 眞 空 度	20 mm 水銀柱
水 銀 量	100立方糎
吸 氣 口 徑	5 糎

擴散ポンプの加熱には電熱式と瓦斯式とあるが、瓦斯加熱によりたるものの方が排氣良好なる結果を得易い。補助ポンプとしての回轉式眞空ポンプの製作技術は最近二三年我が國に於て、急激に發達し排氣速度80立毎分、到達眞空度 0.0001 mm 水銀柱と言ふものが容易に得られるに到つた。筆者は未だ試みて居ないが、之等のポンプを使用すれば、或は擴散ポンプ無くしても充分所要の排氣をなし得るに非ずやと考へてゐる。

次にポンプと母體との接続に就て一言したい。之は多くの既往のオスシログラフセットに於てポンプと母體との接続の管の徑並に長さが排氣速度並に到達眞空度に著しい影響のあると言ふことに對して注意が拂はれてゐないことである。 $10^{-3}$  mm 水銀柱程度の眞空度に於ては、排氣速度は實に管徑の3乗に比例する。従つて之が導管にはなるべく太いものを用ふべきである。筆者は擴散ポンプの内徑と同等の太さのガラス管を以て直結してゐる。(第4圖參照)。

第 4 圖



母體と擴散ポンプの接続

## 2. 接合及び密着剤

オスシログラフ母體の構造は眞空漏洩の見地よりなるべく接合部分の少きことが望ましい。しかし眞乾板を出入せしむる場所並に陰極を取換ふる場所は簡単

に取外し得ることの必要上、摺合せの上、グリースにて密着せしめねばならぬ。摺合せ部分に使用するグリースは下記の仕様に依つて作つた。

白色ワセリン 4~8  
生ゴム 1

の重量比にて生ゴムを細く刻み混合し、 $80^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$ にて兩者充分に混合するまで約40~50時間加熱したるものを作る。夏期には多少ワセリン量を少く、冬期には多くしたるものを用ひねば操作上不便である。尙グリースの眞空處理を行ふ必要はないと思ふ、其他の接合箇所は成るべく常溫にて固化するが如きセメントにて固定的に接合するが<sup>(6)</sup>良い。筆者は此の爲めにはすべて黑色 picein セメントを使用した。

## 3. 排氣不良に關する諸問題

陰極線オスシログラフ操作に於ける困難なる點の一つは排氣である。特に後述の眞空調整の問題と連關して、粗雑に造られたる母體に就ては相當實驗者を悩ます問題である。以下筆者の實驗室に於て經驗したる處を基礎にして排氣に對する考察を二三行ふ。

### (a) 母 體

眞空槽としての母體はなるべく鑄物巢の少いものが望ましい。この見地より右材料としては砲金を擇ぶが<sup>(7)</sup>良い。而も内部は厚く錫鍍金を行ひ置くが<sup>(8)</sup>良い。充分注意して作られた母體も尙且壁より漏洩することあり。母體外部から全面に沿つて picein 塗布するも相當効果をあげ得。且母體内部は乾板取換の時以外はたとへ休止中と雖も眞空に保ち置くを可とす。

### (b) 乾 燥

乾板、フィルムは相當濕氣を持つて居る。母體中に挿入前充分乾燥し置くが望ましい。更に母體中には五酸化磷約10瓦を入れ置くが<sup>(9)</sup>良い。母體内部は絶えず清淨に保つべきこと勿論である。

### (c) 摺 合 せ

乾板を出入せしむべき部分、陰極取換部分は充分摺合せし之に極めて薄く前記グリースを塗布す。放射管部分の摺合せは電子射突の爲高温になる故、グリース蒸氣を生じ放電不安定となり易きを以て、之の部分の摺合せにはグリースが内部にはみ出でざる様注意を要す。他の部分に於ては、陰極線オスシログラフに必要な眞空程度に於ては、上記のグリースを使用する時は多少内部にグリースのみ出ることあるも何等差支へなきことを知つた。

### (d) 接 合 個 所

母體の各部分をすべてグリース接合に依る時は、満

足なる結果を得難い。常時取外しの要なき箇所は何れも摺合せの上、上記 picein に依り固定し置くが良い。ピサインを以て接合する場合には兩接合部分をベンゾールにて良く拭ひ、グリース其他の附着物の無きことを確め、その後充分に熱し、ピサインを一様に塗布する。この場合ピサインを長時間焙に曝す時は、之が炭化して排氣不良の原因となる。然る後密着せしめ更に全體を加熱し、ピサインが兩接合部分に充分に行渡る様加熱するを要す。尙接合部は完全に冷却せぬ間に排氣を行ふと、空氣漏洩を起すことがある。斯くして完全に接合されたるものは餘程の激動を與へざる限り使用中眞空漏洩を生ずることは無い。

#### (e) 漏洩の發見

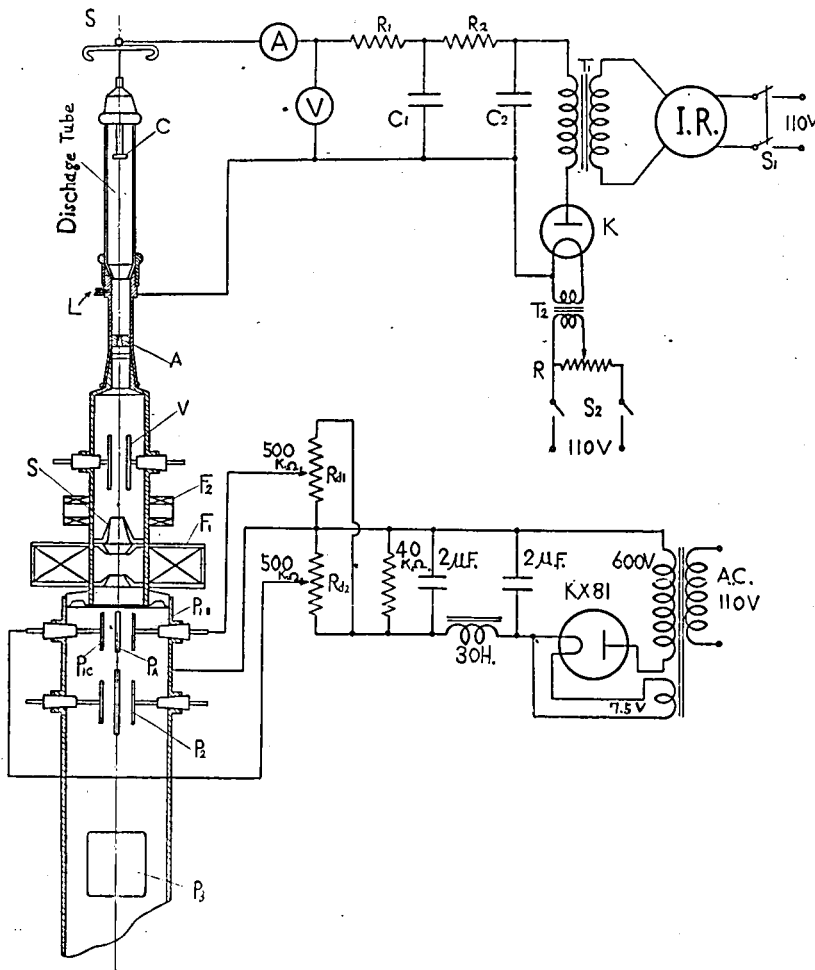
組立たるセットが排氣不良にて漏洩を續くる時其の漏洩箇所をつきとめることは至難である。漏洩箇所の發見方法<sup>(6)</sup>には色々あるが、何れを試みるも満足なる結果は得難い。結局接合部の構造を知悉し、母體をなるべく小部分に分ち、一段々々根氣と周到なる注意を以て検査せざるを得ない。

### IV. 陰極線の發生

陰極線の發生の方法には熱陰極法即ち高熱物體から放散さるゝ電子線を利用するものと、低氣壓間の放電に依る射突イオン化作用に依つて作らるゝ電子線を利用するものとがある。

第 5 圖

陰極線發生回路並に二素子化回路



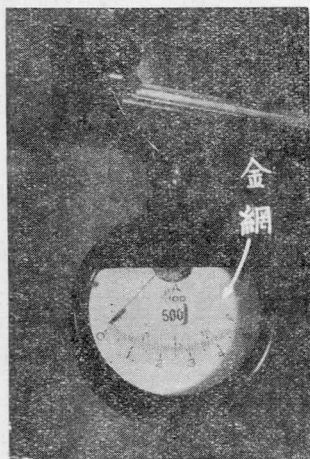
- $L$ : 眞空調節器へ
- $I.R.$ : 誘導電圧調整器
- $S_1, S_2$ : 電源スイッチ
- $T_1$ : 主高壓変壓器  
110:70,000 V
- $K$ : ケネトロン
- $T_2$ : 加熱變壓器  
13.5:110 V
- $R$ : ポテンシヨメーター  
100  $\Omega$  1.5 A
- $R_1$ : 5~20 M $\Omega$
- $R_2$ : 3 M $\Omega$
- $C_1, C_2$ : 0.01  $\mu F$
- $V$ : 靜電々壓計
- $A$ : マイクロアムメーター
- $S$ : コロナ防止板

用するものとある。本文に於ける發生方法は後者に依つたものである。その爲に一つの低氣壓放電をなす放電管を高真空の母體に取付け、母體を陽極として放電管に依り作られた電子流を母體に導入する方法を取つてゐる。放射管への印加電壓、その電流、真空度に依り發生陰極線の模様が變化するもので、之を確實にすることはオスシログラフ操作上の第一要件である。

### 1. 陰極線發生用電源

陰極線發生用放射管の兩極に印加すべき電壓は最高 70 kV 程度あれば良い。筆者は第 5 圖に示すが如き結線の電源を用いた。放射管電壓調整の爲には誘導電壓調整器、 $IR$ 、マイクロ電流計、 $A$ 、靜電流計、 $V$ 、は是非共必要である。發生電壓 70 kV 近くなる時は裝置各部からコロナが出易くなる。高壓裝置より發するコロナは陰極線を不安定にするから極力防止せねばならない。 $S$  なるコロナ防止板もこのための試である。尙マイクロ電流計  $A$  は特に本裝置の爲に設計製作したもので 500  $\mu A$ 、1 mA の切換にて、高壓回路に入れる爲外形をコロナ防止型とし、且スケールガラスには漏遊電荷の蓄積せざる様金網を設けた。(第 6 圖參照)。

第 6 圖



マイクロ電流計

$R_1$ ,  $R_2$  の抵抗値は 3~30 メグオームにしてメタキシロールと純アルコールの混合比を調節して任意の抵抗を得てゐる。

### 2. 放射管

筆者の用いた放射管全體の構造を第 5 圖に示す。

#### (a) 陰 極

陰極は陰極線散作用の少きアルミニウム平圓板を用いた。放射管に長時間電壓を印加する時は、陰極面に

紫褐色の不純物沈着を見る。之が性質に就ては先に筆者の報告したる所にある。良好なる陰極線を放出するが如き氣壓條件の下では斯の如き沈着物は容易に成長し、遂に放射管放電自體を不安定にする。故に時々極面を清掃することを要す。

#### (b) 陽 極

オスシログラフ母體を接地し、その陰極に對する場所に銅製陽極、 $A$  を置く。しかも陽極の中央には射出陰極線の爲に徑 1.5 mm の小孔を設けてゐる。この部分にも陽極よりは程度少なき矢張不純物の沈着を見る故時々掃除を行ふ必要あり。

放射管電流大なる時射突電子の爲陽極は相當温度上昇を受く。陽極の異常な温度上昇は放電不安定の原因となる。かゝる場合水冷を行つた。

#### (c) 管 壁

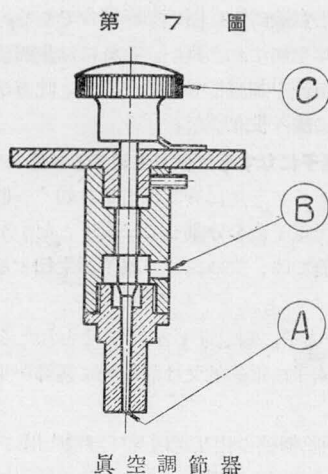
放射管としては長さ、16 cm、内徑 2.5 cm のガラス管を用いた。ガラス管内面にも不純物の沈着あり、之また時々掃除の要あり。外面のよごれも亦放電の安定に重大なる關係あり。常に清淨に保つべきなり。

### 3. 眞 空 調 節

低氣壓内放電に依る電子線を利用する陰極線發生法に於ては、安定且強力なる陰極線を得るため陰極線發生用放射管内部の氣壓を丁度之に適合するが如く調整する要あり。普通の陰極線オスシログラフの構造は高度に排氣された眞空房中へ放射管よりの電子流が小孔(陽極遮孔)を通じて射出せらるゝが如きものであるから、放射管内の氣壓は母體の眞空房と小孔を通じて連絡してゐる。しかも放射管内の氣壓は陰極線發生に對して適當なる値となるを要し、母體の眞空房の氣壓は出來得る限り小なるを可とす。この爲めには放射管の一部より絶へず外氣を送り込み、傍ら母體眞空房を極力高速度で排氣し全體の空氣分子の流れを安常状態にして目的を達せねばならぬ。

放射管の一部より絶へず外氣を送り込むには所謂眞空調節器と言ふ一つの機械的な細隙を通じて行ふものであつて、直接外氣を送るものと、擴散ポンプの低壓側から行ふ方式のものとある。筆者は第 7 圖に示すが如き眞空調節器を作り、直接外氣を導入して満足な結果を得た。同圖  $A$  は眞空槽に導かるゝ口にて、 $B$  は外氣に導かるゝ部分なり。把手  $C$  を調整することに依り  $A$  部分の摺合せの細隙を通し空氣の安定な漏洩を得られ以て眞空調節を行ふものである。尙本器の取付位置は第 1 圖に示してある。





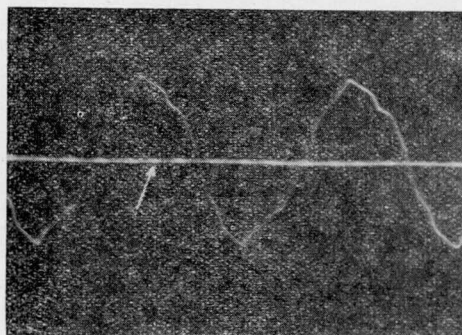
#### 4. 陰極線安定の問題

陰極線を安定に放出することは操作上最も必要なることであるがその安定条件を考へて見ると、

##### (a) 眞空調節

陰極線を一定直径の遮孔より放出せしめ之を螢光板に射突せしむるに、放射管の氣壓大なる時は、焦點を結ばずも板上には可なり大なる光點を得る。氣壓を少にするに従ひ光點の焦點は次第に明瞭となるが更に氣壓が進むと不安定になる。第8圖はかかる場合の掃引圖形なり。

第 8 圖



掃 引 不 安 定 の 例

##### (b) 温度上昇

強力なる陰極線を出すには放射管電壓を高め電流を増加する。斯くする時は陽極の加熱甚しい。之の爲めには操作を速に行ふか、又は冷却の爲に適當なる方法を講ずべきである。

##### (c) 回路抵抗並に回路より發生するコロナ

陰極線發生用電源回路の直列抵抗  $R_1$ ,  $R_2$  は高い程

安定なる陰極線を得る。筆者は  $R_2$  の値として3~20メガオーム位の範圍で實驗的に良好なる條件を求めた。又コロナの存在は陰極線を不安定にし且誘導障害の原因となる故極力防止すべきである。

##### (d) 内部の清淨及瑾の有無

放射管の節で述べたる如く、充分その清淨に注意を拂はねばならぬ。又放射管壁に瑾の有る時之に電荷の蓄積ありて線は不安定になるからこの點亦注意を要す。

清淨にはベンゼンで丁寧に拭くが良い。

### V. 陰極線の集中

陽極中心孔より放出さる陰極線を集中し焦點を螢光板上に結ばしむる方法には電磁的、靜電的、二方法があるが茲には専ら電磁的方法に依て居る。第1圖のコイル  $F_1$  は即ち此目的の集中コイルで、通過電流を加減し容易に、焦點を結ぶを得た。

又高速度掃引の如く陰極線を強力になす爲には、放射管部即ち陽極の前部に集中コイルを置き陰極線を陽極中心孔に集中せしめた。

### VI. 二素子化に就て

#### 1. 二素子方式の採用

電磁オスシログラフが多素子化さるゝと同様の意味に於て、又陰極線オスシログラフの多素子化の考案も多く報告されて居る。此等の多素子化の方法は大體下記に分ち得ると考へらる。

(a) 別々の陰極線發生管に依り個々の陰極線を發生せしめるもの。

(b) 一個の陰極線發生管より發生せしめたる陰極線を適當なる方法を以て分割、多素子化するもの、此内に二種あり。

i. 多數の陰極線射出孔を設くるもの。

ii. 一本の陰極線を分割板に當てゝ分割するもの。である。(a)に對してはDufour, 別宮, 笠井<sup>(8)</sup>氏の試み<sup>(9)</sup>があり、(b) i. に對してはKnoll, Boeckel and Dick<sup>(10)</sup>を始めとし、檜崎, 宮本, 越智氏並に笠井氏<sup>(11)</sup>の試み、ii に對しては笠井氏の考案がある。此笠井氏の最後の考案は焦點作用を與へた陰極線の通路に平板を置き、其板面が線の進行方向と一致する如く配置し、之に負電荷を與へたる時、陰極線は容易に分割さるゝと言ふ性質を應用したる巧妙なる試みであつて、多素子方式として今日充分満足なる結果を與へて居る。之に對し



て上記 (a) の方法は兩放射管の陰極線の光點強度、速度を一致せしむる事困難且二現象の同期、等速度掃引の點に到つては  $10^{-9}$  秒程度を問題とするが如き高速現象に對しては不可能に近い。又 (b), i の方法も各陰極線の集點、光點強度の調整に關して相當難點あり。此等の點を考慮して、筆者の實驗室に於ては笠井氏の方法に依る二素子オスシログラフを設置した。

## 2. 二素子化の具體的方法

第5圖に筆者の實驗せる場合の二素子化の方法を施せる母體構造と二素子化用電源とを示す。陽極  $A$  の中心小孔より出でた陰極線は、焦點移動用コイル  $F_2$  に依り丁度二素子用分割板  $P_A$  の中心に當てられる。 $P_A P_{1C}$ ,  $P_A P_{1H}$  間には夫々圖示の如くポテンシヨメーター  $R_{1C}$ ,  $R_{1H}$  により最高 500 V までの電壓を適當に印加せしめ得る如くなし、以て光點を任意の分割距離に置くを得せしめた。

本オスシログラフに於て二素子の陰極線を射出せしめ使用狀態に置くには如何なる方法に依るか、筆者は下記の順序に従つて居る。

(a) 焦點コイルの電流を零とし、各偏位板を接地短絡する。

(b) 陰極線を發生せしめ、陽極遮孔より出でたる陰極線像を螢光板上に觀察する。此像の大きさは筆者の場合は大體、陽極電壓 65,000 V にて直徑 1.5 cm 程度であつた。

(c) 焦點移動用電磁コイルの電流を加減して、二素子分割板  $P_A$  にて丁度陰極線が二分さるゝ如くなす。

(d) 焦點集中コイルに電流を通じ焦點を結ばしむ。

(e) 二素子用電極に正電壓を印加、電壓値を加減して兩焦點の上下位置を適當に調整する。

以上は陰極線と母體の中心軸とが完全に一致せる場合には容易に行ひ得るが、然らざる場合には可成り困難となる。此點より陰極線軸と母體中心軸の一致に就ては組立の時に萬全の注意を拂ふべきである。

## 3. 二素子光點輝度の調整

二素子にて撮影せんとする場合、兩素子の輝度の強弱加減の必要が起る。オスシログラフの陰極線發生狀態一定の時は、兩光點の輝度の和は一定と考へる事が出来る故に、二素子の内一素子を現象用、他の一素子を時間校正用とするが如き場合には、時間校正用素子の方を弱め、それだけ現象波を強くして撮影し得。一般に時間校正用の掃引光點は薄くともその振幅を小にすれば相當目的を達し得るから、現象をそれだけ強く

撮影すると實驗に依り極めて好都合である。之には光點の分割比を變ずれば良い。それには焦點移動用コイル  $F_2$  の電流を加減して目的を達す。此方法は高速現象の撮影に屢々役立つた。

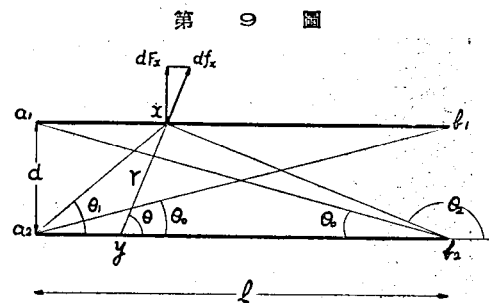
## 4. 二素子になす事に依り生起する誤差

本オスシログラフに於て採用せる如く一個の放電管よりの放出電子流を分割して二素子となすが如き構造のものに於ては、次の二つの誤差が生起すると考へらる。

(a) 一素子に測定電壓が印加せられたる場合、之が第二の素子に電磁的又は靜電的に誘導を生ずる事に依るもの。

(b) 兩陰極線の相互電磁及び靜電作用に依るもの。此の内 (a) に依る處のものは、陰極線母體中に於ける誘導と、外部導入線への誘導とに分ち考へる事が出来る。母體中に於ける誘導は内部導入線並に偏位板を適當に遮蔽する事に依り防止の目的を達し得。筆者のオスシログラフにはかゝる遮蔽無きも、現在の處かゝる誘導妨害は認められないので遮蔽の要はない。

次に (b) に依る處のものを計算に依て算出して見る事とする。第9圖に於て  $a_1 b_1$ ,  $a_2 b_2$  を夫々二素子の場合の二本の陰極線とする。電流が  $a_1 \rightarrow b_1$ ,  $a_2 \rightarrow b_2$  に同方向に流るゝものとし、兩者の電流値、速度は何れも等しく、其値は夫々、 $i$ ,  $v$  なりとする。今兩者間に働



二素子陰極線相互作用計算用圖

く靜電氣力の大きさを求める。 $a_1 b_1$  並びに  $a_2 b_2$  の二陰極線は實際には此靜電氣力及び後述の電磁力に依て平行には進まぬが、兩者の間に働く力の大體の大きさを知る目的からならば、兩線平行として論ずるも差支へない。

$a_2 b_2$  線上の一點  $y$  の附近の  $dy$  なる部分の電子流が  $a_1 b_1$  線上の一點  $x$  に於て生ずる靜電氣力  $df_x$  は

$$df_x = \frac{\rho}{r^2} dy$$

但し  $\rho$  は電子流中の単位長毎の電荷、 $r$  は  $xy$  二點間の距離である。然るに

$$\rho = \frac{i}{v}$$

又  $x-y=d \cot \theta$

$$\therefore df_x = \frac{i}{vd} d\theta$$

$l$  に直角なる分力のみを考ふる事とし之を  $dF_x$  とせば、

$$\begin{aligned} dF_x &= df_x \sin \theta \\ &= \frac{i \sin \theta}{vd} d\theta \end{aligned}$$

$a_1b_2$  上の全電子流に依り  $x$  點に於て生ずる静電氣力の  $l$  に直角なる分力  $F_x$  は

$$\begin{aligned} F_x &= \int_{y=0}^{y=l} dF_x = \int_{\theta=\theta_1}^{\theta=\theta_2} \frac{i \sin \theta}{vd} d\theta \\ &= \frac{i}{vd} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \end{aligned}$$

$a_1b_1$  上の平均の静電氣力  $F$  を求むる時は、

$$\begin{aligned} F &= \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} F_x dx \\ &= \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} \left[ \frac{i}{vd} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \right] dx \\ &= \frac{i}{vdl} \left[ \int_{x=0}^{x=l} \cos \theta_1 dx - \int_{x=0}^{x=l} \cos \theta_2 dx \right] \end{aligned}$$

之を計算すれば、

$$F = \frac{2i}{vl} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1]$$

故に  $a_1b_1$  を流るゝ電子線に作用する静電氣力  $F_s$  は  $e$  を電子の電荷として、

$$\begin{aligned} F_s &= eF \\ &= \frac{2ei}{vl} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1] \end{aligned}$$

$i$  を Amp,  $e$  を Coulomb で表さば、

$$F_s = (3 \times 10^9)^2 \frac{2ei}{vl} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1] \times 1 \text{ cm}$$

次に電磁力を求むるに、 $a_2b_2$  線上  $y$  點附近の  $dy$  なる部分の電子流が、 $a_1b_1$  線上の一點  $x$  に於て生ずる磁界  $dh_x$  は、

$$\begin{aligned} dh_x &= \frac{i dy \sin \theta}{r^2} \\ &= \frac{i}{d} \sin \theta d\theta \end{aligned}$$

$a_2b_2$  上の全電子流に依り、 $x$  點に於て生ずる磁界の強さは  $a_2b_2$  に直角にして其大さは

$$\begin{aligned} H_x &= \int_{y=0}^{y=l} dh_x = \int_{\theta=\theta_1}^{\theta=\theta_2} \frac{i \sin \theta}{d} d\theta \\ &= \frac{i}{d} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \end{aligned}$$

$a_1b_1$  上の平均の磁界  $II$  を求むる時は、

$$\begin{aligned} II &= \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} H_x dx \\ &= \frac{1}{l} \int_{x=0}^{x=l} \left[ \frac{i}{d} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \right] dx \\ &= \frac{i}{ld} \left[ \int_{x=0}^{x=l} \cos \theta_1 dx - \int_{x=0}^{x=l} \cos \theta_2 dx \right] \end{aligned}$$

之を計算すれば、

$$II = \frac{2i}{l} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1]$$

故に  $a_1b_1$  を流るゝ電子線は作用する磁力  $F_m$  は

$$\begin{aligned} F_m &= evII \\ &= \frac{2iev}{l} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1] \end{aligned}$$

$i$  を Amp,  $e$  を Coulomb で表さば、

$$F_m = \frac{2}{100} \frac{iev}{l} [\operatorname{cosec} \theta_0 - 1] \times 1 \text{ cm}$$

上記  $F_s$  は反撥力、 $F_m$  は吸引力となる故、實際電子に働く力  $F_e$  は、反撥力として、

$$\begin{aligned} F_e &= F_s - F_m \\ &= (3 \times 10^9)^2 \frac{2ei}{vl} (\operatorname{cosec} \theta_0 - 1) - \frac{2}{100} \frac{iev}{l} (\cos \theta_0 - 1) \\ &= \frac{2ei}{l} (\operatorname{cosec} \theta_0 - 1) \left[ \frac{(3 \times 10^9)^2}{v} - \frac{v}{100} \right] \dots \dots (1) \end{aligned}$$

となる。

今  $e = 1.6 \times 10^{-19}$  Coulomb

$$i = 10^{-6} \text{ A}$$

$$l = 110 \text{ cm}$$

とする時、電子速度  $v$  が次式で與へらるゝならば、

$$v = \sqrt{1 - \frac{26.11 \times 10^{10}}{(V + 5.11 \times 10^5)^2}} v_0 \dots \dots (2)$$

茲に  $v_0$  は光速で  $V$  は加速電壓、更に

$$V = 61,000 \text{ V}$$

とせば

$$v = 1.35 \times 10^{10} \text{ cm}$$

又

$$d = 1 \text{ cm}$$

とれば

$$F_e = 17 \times 10^{-17} \times 1 \text{ cm}$$

となる。

電子が  $a_1$  より  $b_1$  に到る間平均して上記の  $F_e$  が働くものとして、 $m$  を電子の質量とし、螢光板位置即

ち  $b_1$  に於て、何程陰極線が變位反撥さるゝかを計算せんに、變位を  $Z$  とせば、

$$F_e = m \frac{d^2 Z}{dt^2}$$

變位速度を  $v_z$  とせば、

$$v_z = \frac{dZ}{dt} = \frac{F_e}{m} t + c_1$$

之より、

$$Z = \frac{F_e}{2m} t^2 + c_1 t + c_2$$

$c_1, c_2$  は積分常數なり、然るに  $t=0$  に於て、

$$Z=0 \quad \therefore c_2=0$$

$$v_z=0 \quad \therefore c_1=0$$

$$\therefore Z = \frac{F_e}{2m} t^2$$

$a_1$  より  $b_1$  に達する時間を  $t_1$  とせば、

$$t_1 = \frac{l}{v}$$

$b_1$  に於ける變位  $Z_{b1}$  は、

$$Z_{b1} = \frac{F_e}{2m} \left( \frac{l}{v} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

今

$$m = 9 \times 10^{-28} \text{ gm}$$

$$l = 110 \text{ cm}$$

$$v = 1.35 \times 10^{10} \text{ cm}$$

$$F_e = 17 \times 10^{-17} \text{ dyne}$$

を入れれば、

$$Z_{b1} = 6.7 \times 10^{-6} \text{ cm}$$

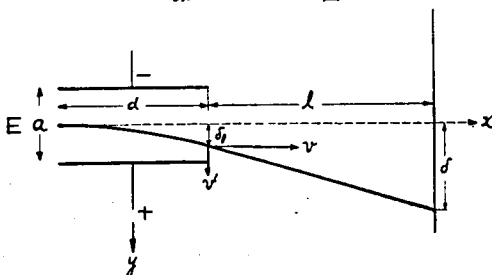
之より見るに殆ど問題とするに足りない程度の相互間の干渉である事を知る。

## VII. 感 度

### 1. 偏 位 感 度

第10圖の如く、陰極線が速度  $v$  を以て  $x$  軸に沿ふて進み來り、之と直角なる  $y$  軸に平行に置かれたる端電壓  $E$ 、間隔  $a$  なる平行板中に入射する時、平

第 10 圖



偏位感度算出圖

行板端より  $x$  軸方向に距離  $l$  だけ距りたる點の陰極線の振れ  $\delta$  を求むるに、電子の運動方程式として、

$$e \frac{E}{a} = m \frac{d^2 y}{dt^2} = m \frac{dv_y}{dt}$$

但し  $v_y$  は  $y$  方向の速度分力とす。又

$$v = \frac{dx}{dt}$$

であるから、上二式より、

$$\frac{dv_y}{dx} = \frac{eE}{mva}$$

$x=d$  に於ける  $v_y$  の値を  $v'$  とする時は、

$$v' = \frac{edE}{mva}$$

此場合  $y$  軸方向の陰極線の振れ  $\delta_1$  は、

$$\delta_1 = \frac{1}{2} \frac{ed^2 E}{mv^2 a}$$

更に全偏位  $\delta$  は、

$$\delta = \delta_1 + \frac{v'}{v} l = \frac{ed^2 E}{mv^2 a} \left( \frac{d}{2} + l \right) \dots\dots\dots (4)$$

$V$  を陰極線加速電壓とする時、本式の  $v$  は、

$$\frac{1}{2} mv^2 = eV$$

にて與へられる筈であるが、高電壓印加の場合の如く  $V$  の値大となる時は、(2)式が成立するから、

$$\delta = \frac{e}{m} \left[ \frac{d}{1 - \frac{26.11 \times 10^{10}}{(V + 5.11 \times 10^5)^2}} \right] v_0^2 \left( \frac{d}{2} + l \right) \frac{E}{a} \dots\dots (5)$$

を得。今  $E$  を Volt にて表はしたる時は、

$$E = \frac{300 \delta}{\frac{e}{m} \left[ \frac{d}{1 - \frac{26.11 \times 10^{10}}{(V + 5.11 \times 10^5)^2}} \right] v_0^2 \left( \frac{d}{2} + l \right) \frac{1}{a}}$$

$$\therefore K = \frac{300}{\frac{e}{m} \left[ \frac{d}{1 - \frac{26.11 \times 10^{10}}{(V + 5.11 \times 10^5)^2}} \right] v_0^2 \left( \frac{d}{2} + l \right) \frac{1}{a}} \dots\dots (6)$$

と置けば、 $K$  は 1cm の偏位に要する偏位板電壓の大きさにして、之を偏位感度と名付くる事とした。

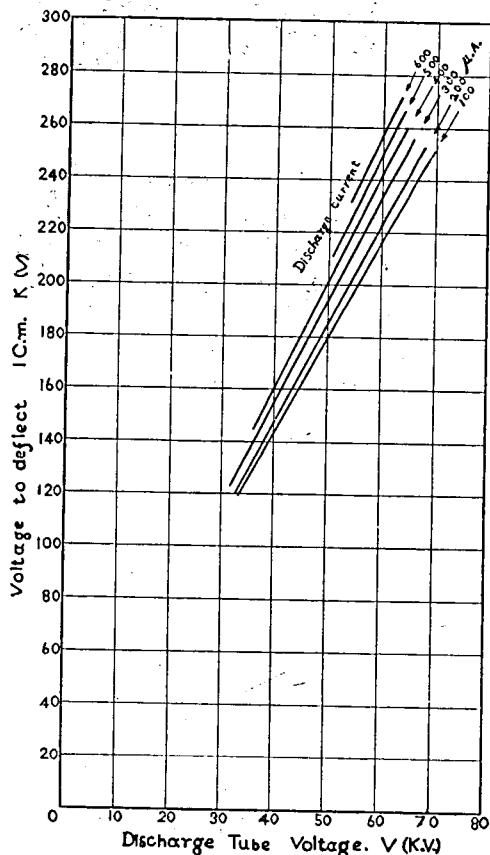
此偏位感度は、數式の示す處に依れば、放電管電壓並にオシログラフの幾何學的構造に依て決定さる數となる。

### 2. 實 驗

本文に於て實驗に供せるオシログラフに就き、偏位感度  $K$  と放電電壓  $V$  との關係を求めたるに第11圖の如き結果を得。即ち一定放電管電流の下では  $V$  と  $K$  とは直線的關係あるも、放電管電流に依り相當感度  $K$  の消長あるを認む。之は(6)式に與へらるゝ  $K$  に現

はれざる處にして、今後實驗に當つて充分注意を要する點である。

第 11 圖



オシログラフ感度曲線

### VIII. 偏位校正

撮影さるべきオシログラフに對しては現象電壓感度の校正並に時間の校正を行はねばならぬ。

#### 1. 現象電壓感度校正

それには陰極電壓並に電流を現象撮影時と同一の値に調整し、偏位板に既知電壓を印加し静止光點を撮影するか、又は時間掃引を行はして行ふ。筆者の實驗に於てはすべて蓄電池を既知電壓電源として使用した。

尙感度の項に於て述べたる如く、管電壓一定の下に於ても、管電流に依り感度の異なる點は特に注意を要す。

#### 2. 時間校正

現象電壓感度校正と同様陰極電壓並に電流を現象撮影時と同一の値に調整、更に時間掃引回路の状態も

原狀のまゝにて時間掃引方向と直角方向に既知周波の電壓を加へ同時に時間掃引を行ひて行ふ。

既知周波電源としては周波數の安定と言ふ意味から水晶發振器が望ましいけれども、測定の種類に依り時間掃引速度も種々變るから時間校正用電源も同一の發振器で各種の周波電壓を出し得る如くした方が便利である。

第12圖は筆者の實驗に使用せる發振器にして、  
1,000 kC~20 kC の範圍に周波數を任意に變じ得られる如きもので、各種の衝擊實驗に本器一個を以て共通に使用し得る。第13圖は本器を示す。實驗に際しては二素子用電源と共に母體配電盤下部に取付固定した。

### 3. 電壓、時間同時校正法

現象電壓感度校正と時間校正とを同時に行ふときは、陰極線電壓及電流を再調整するの要なく實用上極めて便利である。之に就ては次の様な方法が考へられる。

(a) 單素子としてオシログラフを働かしめたる場合

(i) 第14圖(a)の如く現象の起る直前の極めて短時間のみ時間校正を行ひ、電壓校正はその振幅を知る法、尙振幅と電壓値との關係は豫め測定し置く。

(ii) 第14圖(b)の如く現象發生の直前に於て極めて短時間、電壓校正並に時間校正を行ふ方法。<sup>(17)(18)(19)</sup>

以上の二つの方法は何れも電壓値校正としては間違なくとも時間校正に於ては、等速掃引の場合に就てのみ有効なることを注意せねばならぬ。

(b) 二素子としてオシログラフを働かしめたる場合、

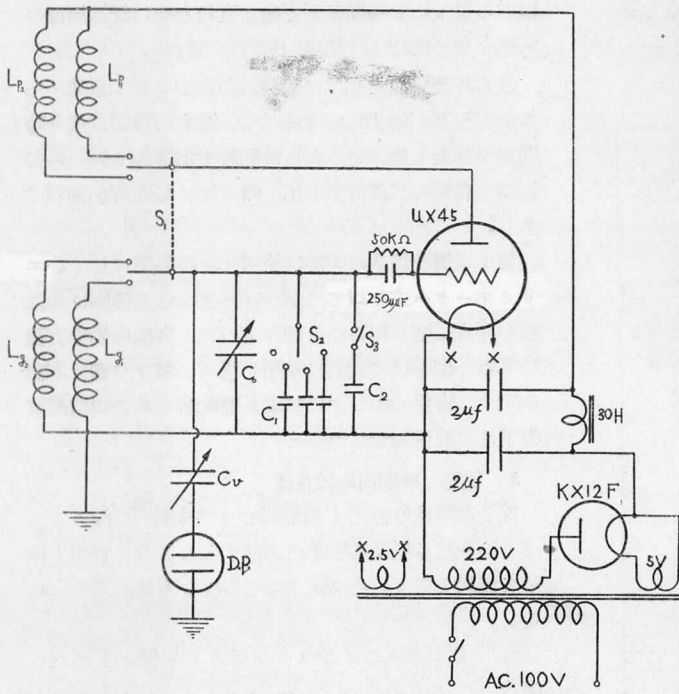
この場合は二素子の内一素子をこの目的の爲に使用する。この場合にも次の如く二つの方法がある。時間校正は正確になし得るも電壓校正はオシログラフ兩素子の電壓感度が同一なること、即ち主として兩素子の偏位板構造同一なることを必要とする。然らざる場合之に對する校正を要す。

(i) 第14圖(c)の如く感度校正を時間校正波の振幅に依るもの。

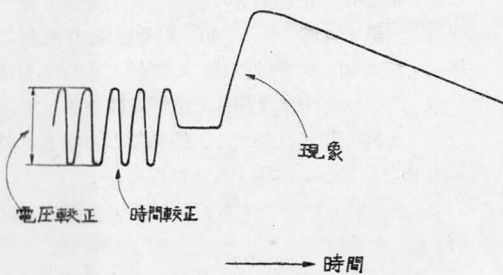
(ii) 第14圖(d)の如くに時間掃引の途中にて電壓感度校正を既知電壓にて行ふものとあり。

以上同時校正に於て振幅より電壓感度を知る方法は誤差を生じ易く、單素子として行ふ場合は等速掃引の條件が満足され居るや否やに就て疑はしく、結局第14圖(d)の如き方法が最も適當と考へらる。第14

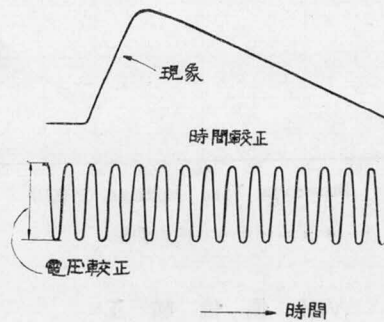
第 12 圖



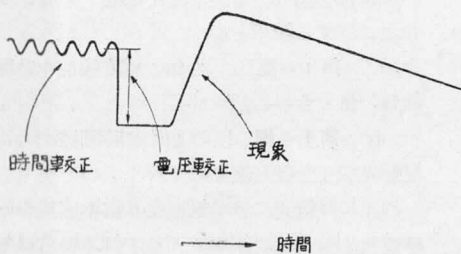
第 14 圖



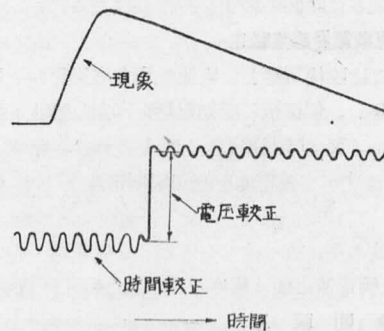
(a)



(c)



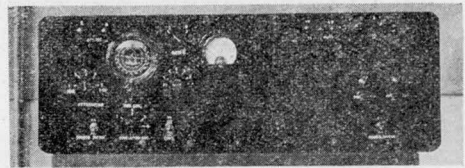
(b)



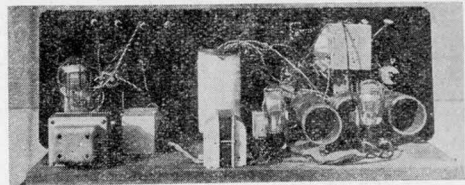
(d)

電 壓 時 間 同 時 較 正 法

第 13 圖



(a) 表 面

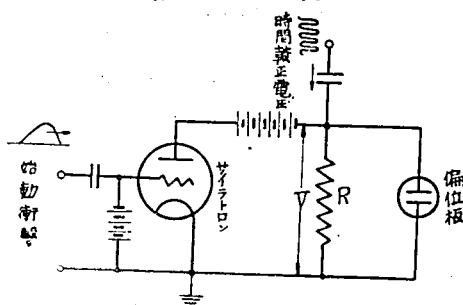


(b) 內 部

時間較正用發振器並に二素子用電源

圖(d)の如き方法を行ふには第15圖に示す如き接続に依り、絶へず時間校正電壓をかけ置き別に現象始動衝撃に依り、現象始動と同時に又は相前後して電壓校正が行はれば良い。

第 15 圖



時間電圧同時校正結線圖

## IX. 寫 眞

寫眞乾板又はフィルムの陰極線掃引に依る感光度は陰極線電壓、陰極線電流、掃引速度に依り決定せらる。高速度掃引をなすものは感度高きものが望ましい。筆者はレントゲンフィルムを使用した。

尙寫眞撮影を行はざる場合、螢光板には Zinc Silicate を使用した。

## X. 掃 引 操 作

### 1. 時 間 掃 引

言ふ迄も無く、オスシログラフは現象の時間的變化の模様を記録する装置である。従つて、例へば直角座標の場合には、縦軸に現象、横軸に時間を採用するから、記録紙を電磁オスシログラフの如く現象と直角方向に回轉せず、之を靜置するが如きものに於ては、記録を生すべき光點を現象と直角方向に掃引、以て時間的變化を知る方法を採る。時間掃引の方法には靜電的、電磁的の二方法が考へられるが、高速度現象の撮影の目的並に動作時間の制御と言ふ見地から、靜電的に行ふ方法が良い。

筆者の採用せる方法は増幅率大なる三極真空管 SN154 を通じ、豫め充電された偏位極板を放電せしめ、偏位極板端子の電壓の時間的變化の直線的部分を利用し直線的時間掃引を得た。第16圖にその實際の接続圖を示す。

第1パネルに依り、AC 110 V 電源より HX966 A 二個を用ひて SN154 陽極板用電壓  $V$  を發生せしめ、その負端は接地して之を第2パネルに入れ、抵抗  $R_0$ 、

$R_1$ 、 $R_2$ 、並に  $R_3$  を通じて SN154 及時間偏位板を充電す。SN154 球の織條は接地され居り、其格子が充分大なる負電壓に保たれる時は、其の陽極電流は阻止され居る故、時間偏位板端子 A は大地に對し  $V$  なる電位となる。此時  $R_1$  のタップ位置が丁度其の間にあるときは、 $R_3$ 、 $R_2$  は夫々  $2M\Omega$  にして、 $R_3$ 、 $R_4$ 、 $R_5$  の直列の端子に電壓  $V$  が與へられる故、B の電位は  $V/2$  となる。次に突如 SN154 球の格子に充分大なる正電壓與へられたりとせば、B の電位は  $V/2$  の不變に保たれあるも、A の電位は  $V$  より零に變ず。従つて AB 間の電位差は  $V/2$  から  $-V/2$  に變ずる。故に時間偏位板電壓を印加せぬ時、光點が螢光板の丁度中心に現るゝ如く調整置き、次に本装置に依り SN154 格子に負を印加したるまゝ時間偏位板に電壓印加を行ひ、光點が丁度光板の一端にあらはるゝが如く  $V$  を調整せば、SN154 球格子電壓正となりたる時には光點は時間掃引を始め、他端に到りて靜止し掃引を終る。

掃引速度の加減は SN154 球の織條電流を抵抗  $R_2$  を加減して行ふか、スイッチ  $S_1$  を入れて  $C_1$  の容量を變じて行ふ。斯くして筆者は最高掃引速度  $10\text{ cm}/\mu\text{S}$ 、最低  $100\text{ cm}/\text{s}$  或は其以下迄にもなすことを得た。尙  $R_4$  を可變にしたるは光點の掃引開始點並に終止點を調整する爲めである。因に SN154 の規格は第3表に示す如し。

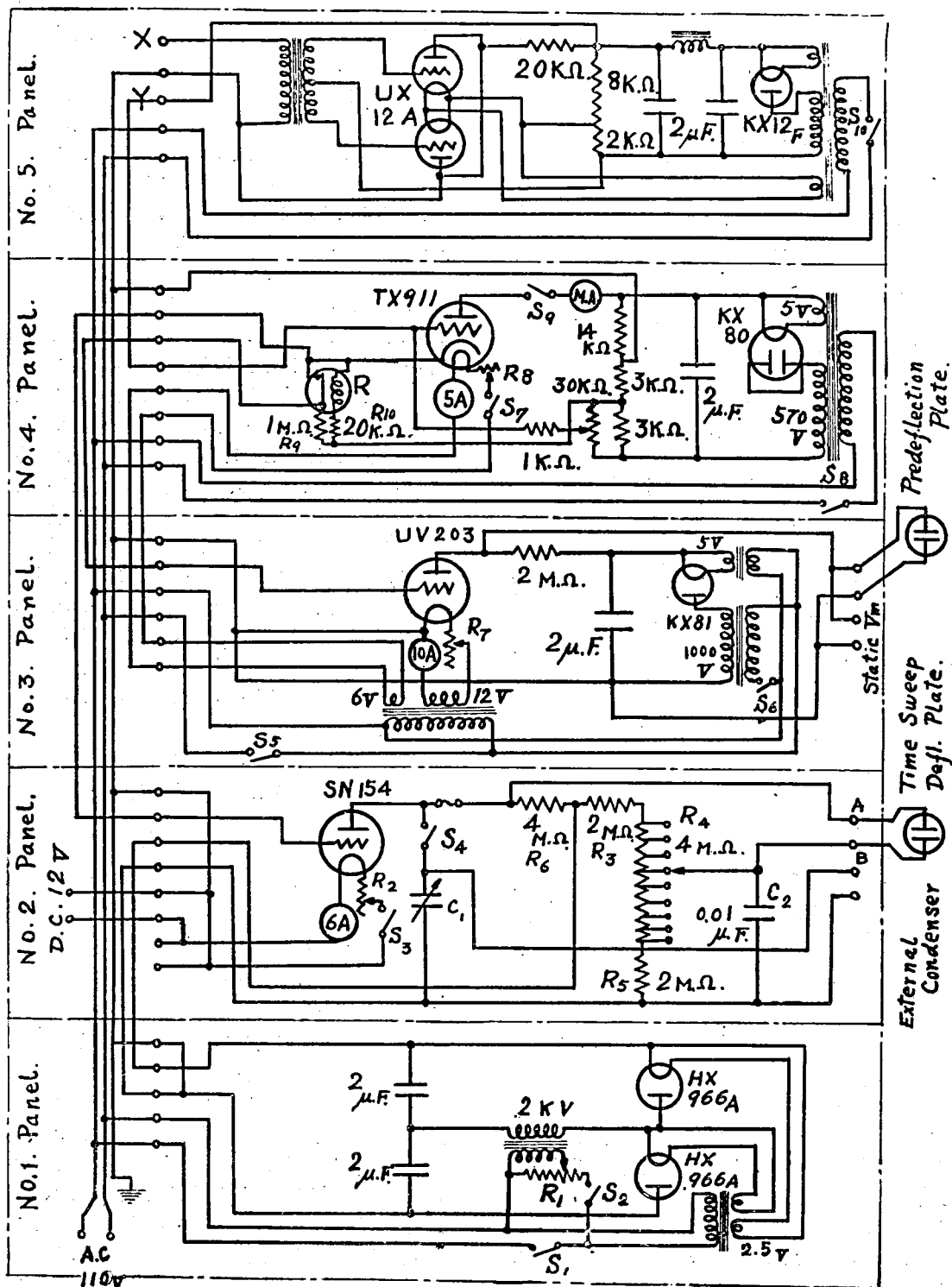
第 3 表  
SN154 特性規格

織 條 電 流	6 A
" 電 壓	10 V
陽 極 "	8,000 V
増 幅 常 數	300

### 2. 先 偏 位

高速度現象撮影の目的から、光點は極度に強力なるものが望ましい。従つて乾板のカブリ防止の見地から光點を乾板上長時間露出し置くことは出来ない。出來得べくんば掃引操作中のみ陰極線をオスシログラフ母體內に導入する必要がある。此の爲に先偏位操作を行ふ。即ち現象の起る寸前まで陰極線を抑留し置き、又現象終了直後陰極線を再び抑留する操作である。之にも矢張り電磁的、靜電的、機械的の三方法があるが、靜電的に行ふか動作確實、操作容易なる爲め筆者もこの靜電的方法に依つた。

第 16 圖



掃引動作回路

それには陽極遮孔を出た直後の陰極線を平行板—先偏位板—を経て更に其直後に置かれたる先偏位遮孔を通過せしめる。此先偏位板に電壓を印加する時は、陰極線は偏位せられて偏位板直後にある偏位遮孔を通過せず、光點は母体内に入らぬ。然るに先偏位板の電壓を零とする時は、陰極線は直線的に進み母体内に入るから先偏位板の電壓印加に依り陰極線抑留の目的を達し得る。

先偏位板及び先偏位遮孔  $S$  の構造は第 1 圖により知る。先偏位用の電源は第 16 圖第 3 パネルに示す如く、 $S_0, S_0$  を通じて KX81 より直流的 1,400 V を發生せしめ之を先偏位板に印加す。抑留制御は先偏位板と並列に入れたる UV203 の格子電壓に依りて行ふ。即ち格子電壓は常時は充分負に保たれ、現象撮影直前突如正となる時は先偏位板兩極電位差零となり、更に現象終了後之を充分負にする時は、偏位板には充分大なる電壓印加せられ目的を達す。

### 3. 先偏位と時間掃引の起動並に終動の制御

全オシログラフの操作は一つの電氣的衝撃に依て行はれることが望ましい。特に過渡現象撮影の場合に然り。即ち一つの電氣的衝撃を與へることに依り時間掃引、先偏位のすべての起動終結をなすことを要す。然るに一つの電氣的衝撃はその極性が正なるか負なるか現象回路の状態に依り種々起り得るであらう。そこで正負何れの電氣的衝撃も結局正の衝撃と變換せられるために筆者は第 16 圖第 5 パネルの如き極性選擇裝置を設けた。端子  $X$  より衝撃を與ふれば、正負何れの衝撃來るとも端子  $Y$  を通じ第 4 パネルのサイラトロン TX911 の格子に必ず正波が波及する。

さて上述先偏位も時間掃引も何れも三極管の格子電壓を充分大なる負値が充分大なる正值まで變ぜらるを要す。此の爲の格子電壓の電源は第 4 パネルから供給せらる。第 4 パネルにてサイラトロン TX911 の格子電壓負にして未だ動作せざる時は、UV203, SN154 の格子は何れも充分大なる負電壓が與へられるが、TX911 の格子電壓が正波衝撃印加により突然に正となる時は、その陽極電流流れ、陽極電流に依る  $R_0, R_{10}$  の電壓降下は夫々、UV203, SN154 の格子に突如正電位を與へ、先偏位に時間掃引を同時に動作せしむ。併しサイラトロン TX911 動作し陽極電流流れる時は繼電器  $R$  動作し其の接點は離れ、先偏位用 UV203 格子には再び負電壓が與へられ先偏位動作す。即ち光點は遮斷さる。併し  $R$  の動作には相當時間の遅れがあり、その接點を調整することに依り丁度掃引終了又は

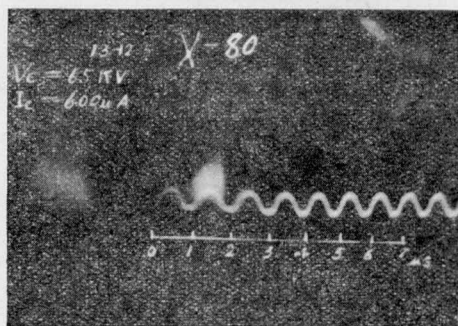
現象の終了後適當時間に動作せしむる如くなし得られる。

尙 TX911 は一旦動作したる後その陽極電流を消し、再び使用前の状態に置くには陽極回路を一旦切るを要す。

之には  $S_0$  を用ひてゐる。

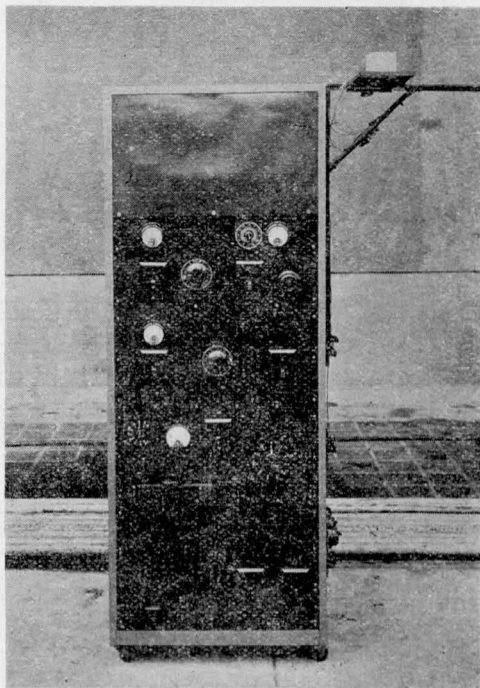
又先偏位と時間偏位は同時に起ることが望ましい。先偏位用三極管 UV203 の縦條電流小なるときは、時間掃引より遅れて先偏位の開放が始まる故掃引線は始めの一部が寫らない例がある。(第 17 圖参照)。

第 17 圖



先偏位開放の遅れたる例

第 18 圖

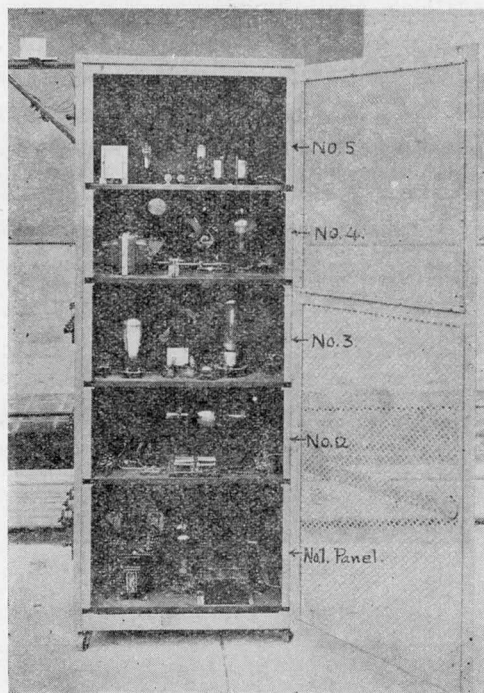


掃引裝置正面



以上の如くサイラトロンを用ひて働かせしめ且如何なる極性の始動衝撃の下にも働作するか如き本方式は人爲的に發生し得る現象のみならず、偶發生の現象も容易に撮影し得る便がある。

第 19 圖



掃引装置裏面

第1より第5までのパネルを掃引装置として組立てたものを第18圖、第19圖に示す。

因にサイラトロン TX911 の特性第4表の如し。

第 4 表  
TX911 特 性 規 格

織 條 電 壓	5 V
、 " 電 流	3.5 A
陽 極 最 高 電 壓	5,000 V
、 " 電 流	2.5 A
、 " 平 均 "	600 mA
働 作 開 始 格 子 電 壓	+1.8 V (陽極電壓 100 V)
	-8.0 V ( " 1,000 V)

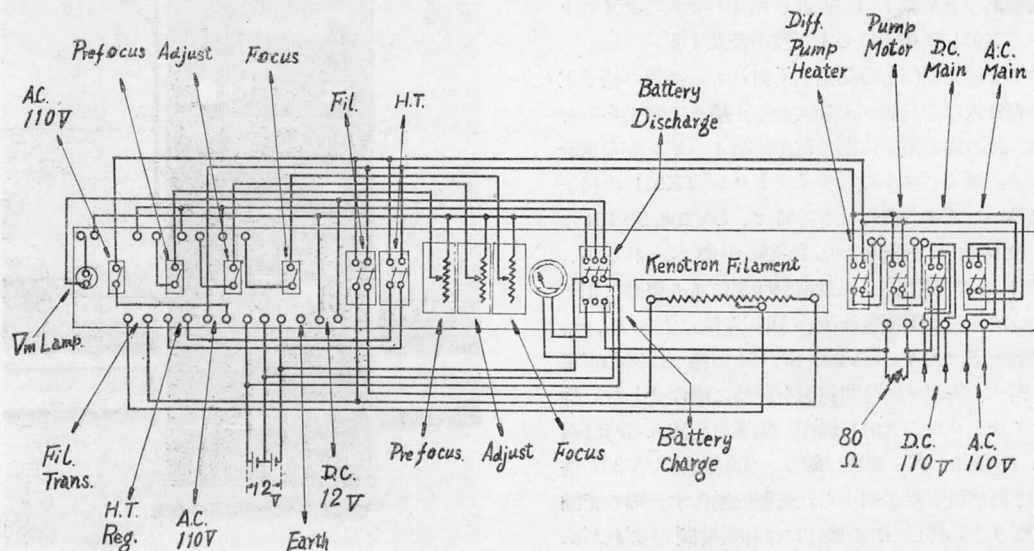
## XI. 配 電 盤

オシログラフ操作を容易にする爲、第3圖中Aに示す位置に横に長く配電盤を設け、一切の電氣的操作を行ふべく、抵抗器、調節器、スイッチ等を取付けた。結線圖を第20圖に示す。

## XII. 過渡現象の撮影

本陰極線オシログラフを用ひ實際の過渡現象を撮影する操作に就き述べる事とす。既に述べたる如く、操作の根本方則は、先づ陰極線を抑留し置き次に時間的に現象の生起する少しく前に抑留を開放し、同時に時間掃引を行はしめ、次に光點が乾板上適當の位置に

第 20 圖



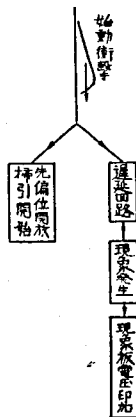
配 電 盤

來りたる時、現象を撮影し、掃引終了と共に直ちに陰極線を抑留すべき事である。

### 1. 発生瞬時に制御し得るが如き現象の撮影

時間偏位速度の小なるものに就ては、機械的方法例へば回轉スイッチの如きものを以て、先偏位開放、掃引開始、現象生起、先偏位印加を順次行ひて目的を達するも、 $10^{-6}$  秒程度の現象を撮影するに當つては時間掃引速度大、従つて掃引開始より現象撮影の瞬時までの間の時間が極めて短くなる爲、上述の機械的方法に依る事を得ない。依て電氣的に之を行ふ事となる

第 21 圖



発生瞬時に制御し得るが如き現象撮影の操作順序

が、之に對しては第21圖に解説せる如く、始動衝撃を發生せしめ、之に依り先偏位開放、掃引開始を行ふと同時に、現象を發生せしめ現象を撮影する方法が其應用の一般性より最良と考へらる。先偏位開放、掃引開始の詳細は第 X 節に於て述べた。依て茲には筆者の實驗に於て行ひたる、始動衝撃の發生法、現象發生方法、同期法即ち遅延回路の状態、並びに筆者の現象試験撮影用として組立てたる小型衝擊電壓發生器に就て述べる事とす。

#### (a) 始動衝撃の發生

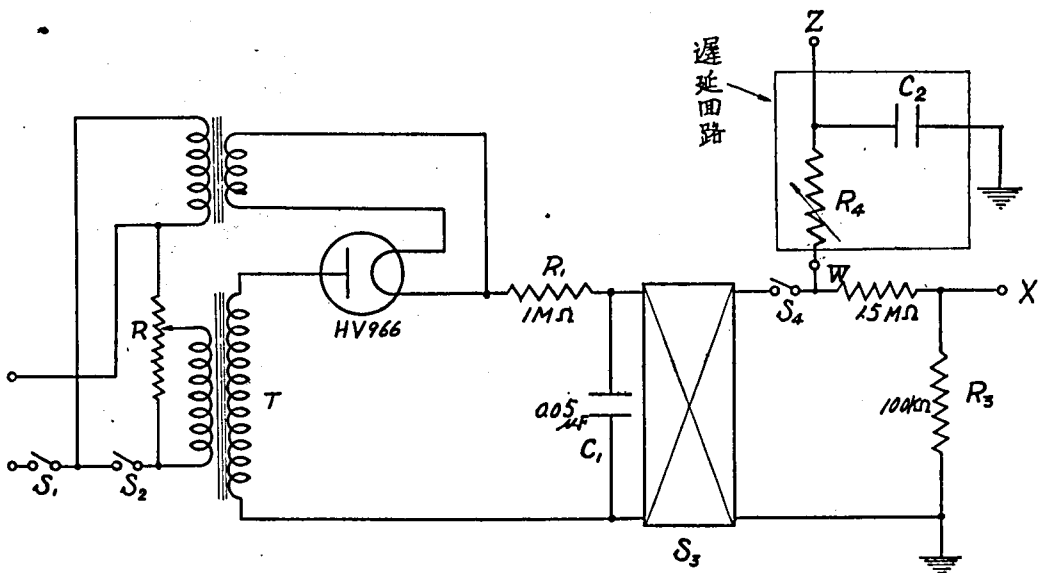
始動用衝擊電壓の發生に對して、筆者は第22圖の如き回路を使用した。之は 0~5,000 V の正負任意の衝擊波を發生し得らる、如きものである。極性變換は  $S_3$  を以て行ひ、 $S_4$  を投入する事に依り W 及び X 端子に始動衝撃を得る。

之に依り第22圖 W 端子より遅延回路を経て現象を發生せしめ、一方 X 端子より第 X 節掃引回路第 16 圖第 5 パネル X 端子に衝擊を與へ、先偏位開放、掃引開始が行はれる事となる。第23圖は本始動衝撃發生器なり。

#### (b) 現象の生起

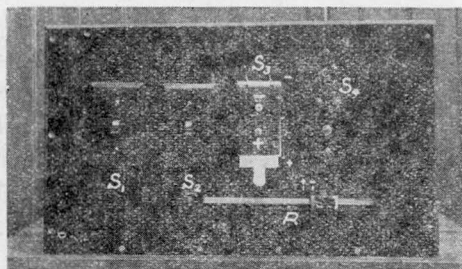
始動衝撃に依り現象を生起せしむるには色々の方法が考へられるが、最も容易且便利なる方法は次の二つである。

第 22 圖

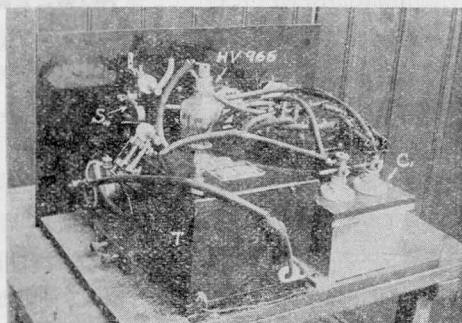


始動衝撃發生裝置

第 23 圖



(a) 表 面

(b) 内 部  
始動衝撃発生装置

i. 始動衝撃に依りサイラトロンを動かして其主電流に依つて現象を生起せしむる方法。

ii. 始動衝撃に依り火花放電を行はしめ其火花に依て現象を生起せしむる方法。

何れも衝撃電壓発生器起動用として便なり。第2の方法は當實驗室備付 10,000 kV 衝撃電壓発生器<sup>(21)</sup>に應用したるを以て、其報告に於て述べるものとし、茲には i の方法に就て述ぶ。

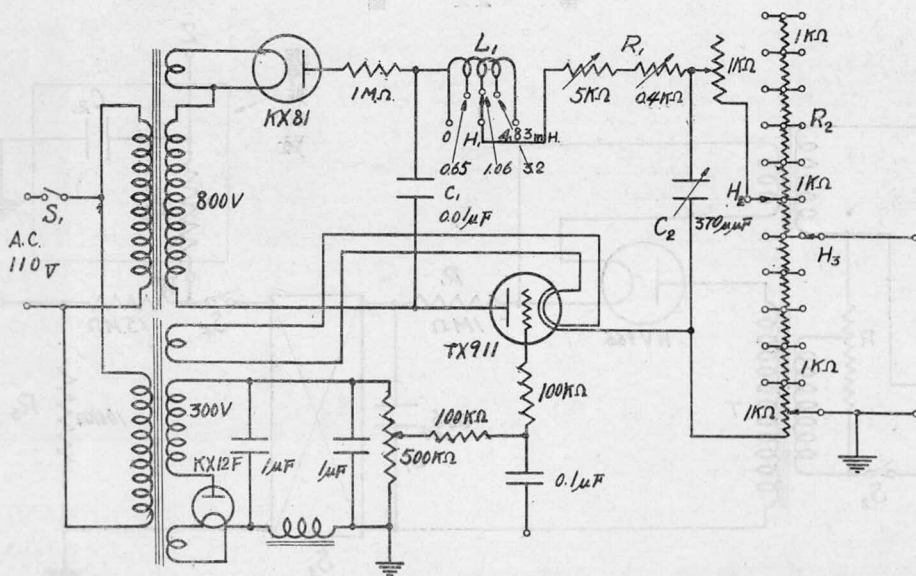
第22圖 W 端子に發生したる衝撃は  $R_1 C_2$  の遅延回路を経て Z 端子に現はる。Z 端子を別に設けたサイラトロン<sup>(21)</sup>の格子に導入せば衝撃正なる時にサイラトロンを働かせしめ得。

筆者はオシログラフ撮影實驗の目的から、小型衝撃電壓発生器を作り、其發生波形を實際撮影した。此衝撃電壓発生器にサイラトン制御の起動方法を採用した。結線は第24圖に示す如きものである。第25圖に其外觀を示す。本小型衝撃電壓発生器は、當實驗室備付 1,000 kV 衝撃電壓発生器の常數可變の範圍の常數を持たしめた。之は 1,000 kV 發生器の特性豫知、操作の簡易化を計る目的を有す。

## 2. 偶發的過渡現象の撮影

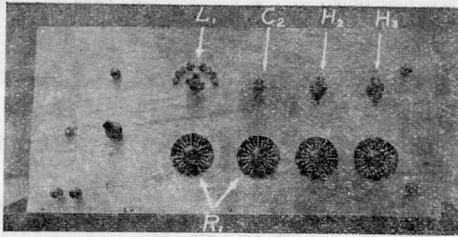
自然雷現象の觀測の如く、現象の生起する瞬時の全く豫知し得ざるものに就ては、被測定現象を掃引回路始動衝撃として用ひ、先偏位開放、時間掃引開始を行はしむると共に、一方現象波は遅延回路を通じて、適當の時間後現象板に現象波印加、さるゝ如くすれば良い。(第26圖参照)。

第 24 圖

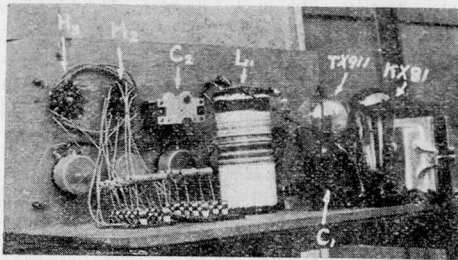


試驗用衝擊電壓發生器

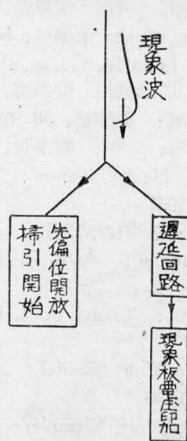
第 25 圖



(a) 表 面

(b) 内 部  
試験用小型衝撃電壓發生器

第 26 圖



偶發的過渡現象撮影の操作順序

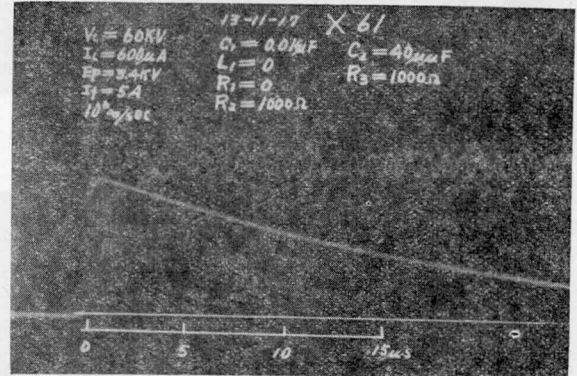
之に對しては、三極真空管を用いた Gabor, Fucks,<sup>(22)</sup> Kroemer, 火花間隙を用いた Ackermann, Rogowski,<sup>(23)</sup> サイラトロンを用いた笠井、只野、吉田氏の研究がある。

筆者の既に茲に述べた起動方法は、笠井氏のものと略同様であるから、偶發的過渡現象の撮影にも使用し得る譯である。

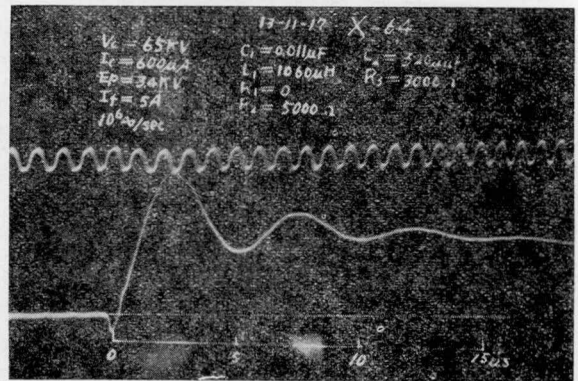
### 3. 撮影例

本器に依る撮影の例を第27圖に掲ぐ、(a)は試験用衝撃電壓發生器に於て

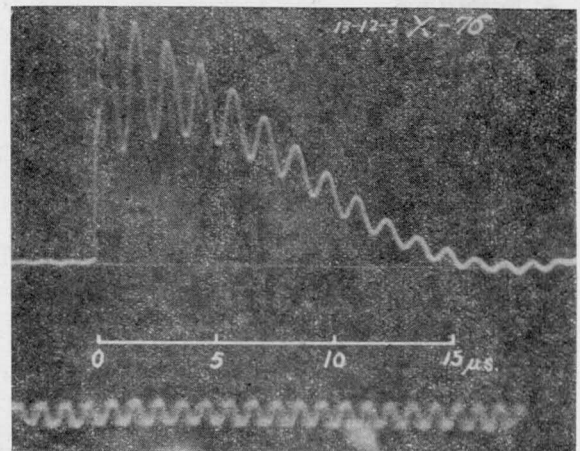
第 27 圖



(a)



(b)



(c)

オシログラム例

$$C_1 = 0.01\mu F \quad C_2 = 40\mu F \quad R_2 = 1,000\Omega$$

$$L_1 = 0 \quad R_1 = 0 \quad R_3 = 1,000\Omega$$

の場合の衝撃波形、(b)は同上に於て

$$C_1 = 0.01 \mu F \quad C_2 = 320 \mu F \quad R_2 = 5,000 \Omega$$

$$L_1 = 1060 \mu H \quad R_1 = 0 \quad R_3 = 3,000 \Omega$$

の場合の振動性衝撃波形、(c)は針端對球放電に於ける電流波形の一例である。

## XII. 結 言

本文は當研究室に衝撃電壓波形測定の目的を以て備付けられたる陰極線オシログラフに就て、主として其操作方法に關する研究結果を述べ、更に之等に對する論議を行つたものである。

惟ふに、陰極線オシログラフは其用途に依り種類特性も自ら異つて來るが、

特に注意すべきは取扱の簡單な事である。大なる熟練を要せずして容易に、直ちに現象を撮影し得られ、しかも構造簡單なる本器の出現が望ましい。之に關して下記諸點に就て今後の注意を喚起し度い。

### 1. 眞空に關する問題

眞空操作の面倒なる事言ふまでもない。外部撮影型になし得られれば此點は全く解決するが、特に良好なる螢光物質の作られざる限り内部撮影型は依然外部撮影型よりも其高速度現象を撮影し得る點に於て優秀なる地位を保持して居る。此點内部撮影型の捨て難き強味である。従て簡単に眞空を得る方法、即ち操作容易にして而かも高度眞空を得るポンプが要求される。

### 2. 陰極線發生法

本文にある如く陰極線發生の方法として多く冷陰極法が採用せられて居る。併し之は眞空調整の點より困難が多い。眞空技術の進歩したる今日、熱陰極に依るものの方が安定且豊富なる陰極線を容易に得らるものと思はれる。

### 3. 掃引回路

掃引回路は可及的に簡單なるものに進むべきで、上述の如く一つの始動衝撃を與へる事に依り全裝置の起

動完了をなさしむる方式のものは、最も合理的なるも相當機構の複雑なるを免れない。更に簡單化するを要す。

## 参 考 文 献

- (1) 笠井：(共立社發行)陰極線オシログラフ
- (2) 大河内：電學誌 54 953 (昭9)
- (3) 辻田：日立評論 309 (昭12)
- (4) 笠井、荻原、只野：電學誌、54 332 (昭9)
- (5) Walter: Ann. d. Phys., 18 (1905)
- (6) 須賀：應用物理、(昭12)
- (7) 鳥養、上西：電氣評論、23 636 (昭10)
- (8) Dufour: Oscillograph Cathodique, (1923)
- (9) 横河電機型錄
- (10) Knoll: E.T.Z., 46 1101 (1932)
- (11) Boeckel, Dicks: Arch. f. Elek., 27 134 (1933)
- (12) 檜崎、宮本、越智：電學誌、53 584 (昭8)
- (13) 笠井：電學誌、53 922 (昭8)
- (14) 笠井、荻原、只野：電學誌、54 332 (昭9)
- (15) 笠井、佐藤、草野：電學誌、56 1125 (昭11)
- (16) Lenard: Handbuch. Exp. Phys., 14 51
- (17) 檜崎、宮本、越智：電學誌、54 584 (昭9)
- (18) 檜崎、宮本：電學誌、50 872 (昭5)
- (19) 笠井、高岸、只野：電學誌、50 795 (昭5)
- (20) Rogowski, Flegler, Tamm: Arch. f. Elek., 18 513 (1937)
- (21) 電氣評論 (昭和12年12月)
- (22) Fucks, Krömer: Arch. f. Elek., 27 125 (1933)
- (23) Ackermann: Trans. A. I. E. E., 49 467 (1930)
- (24) Rogowski, Wolf, Schäffer: Arch. f. Elek., 23 707 (1930)
- (25) Rogowski, Wolf, Klempner: Arch. f. Elek., 23 667 (1930)
- (26) 笠井、只野、吉田：電學誌、56 558 (昭11)



## 衝撃電壓發生器と高壓陰極線オシログラフとの同期操作に就て

## 内 容 梗 概

衝撃電壓發生器に依る發生衝撃波形を、確實に陰極線オシログラフ上に捕捉する事は、衝撃現象が短時間なる程困難となる。本文は  $1\ \mu\text{s}$   $2\text{ cm}$  程度に掃引せらる可き高速度現象を撮影する場合に、筆者の経験したる處を記述せるもので、

第 I 節緒言に於て、同期操作の困難なる事を指摘し、

第 II 節に於て、筆者の用ゐる同期方法を圖示し、その大要を述べた。

第 III 節は始動用衝撃發生裝置に關し、

第 IV 節は衝撃電壓發生器起動用回路に關し、同期上注意すべき事項を述べた。

第 V 節は同期操作に於ける注意事項を述べ、

第 VI 節は極性に對する起動方式の變更方法に就て述べられ、

第 VII 節は結言である。

## I. 緒 言

陰極線オシログラフを用ひ過渡現象を撮影する操作の根本法則は、先づオシログラフの陰極線を抑留し置き（これを先偏位と名付く）、次に時間的に現象波がオシログラフに到達する少しく前に抑留を開放し、同時に時間掃引を行はしめ、次に光點が乾板上適當なる位置に來りたる時、現象をオシログラフに到達せしめ、現象を撮影し、掃引終了と共に直ちに陰極線を抑留する事である。

緩徐なる現象撮影に於ては、時間偏位速度小なるを以て機械的方法、例へば回轉スキツチの如きものを以て、先偏位開放、陰極線の掃引開始、先偏位印加を順次に行ひて目的を達し得るも、衝撃電壓發生器を用ひたる實驗に於ては現象が  $\mu\text{s}$  程度の極めて短時間に生起する性質のものが多から、時間掃引速度大となり、掃引開始から現象撮影の瞬時までの時間が極めて短きため、上述の機械的方法に依つては殆ど現象を適確に捕捉することは困難で、専ら電氣的方法に依つ同期を行はねばならない。然るにこの電氣的方法に依るも仲々確實に同一位置にくりかへし現象を捕捉することは容易でない。これに對して筆者は既に拙著「陰極線オシログラフに關する實驗的研究」<sup>(1)</sup>中に於て述べたる如く、一つの始動衝撃を發生せしめ、これに依り陰極線オシログラフの先偏位開放、並に掃引開始を行ふと共に、傍ら、現象を發生せしめ、現象を撮影する方法を

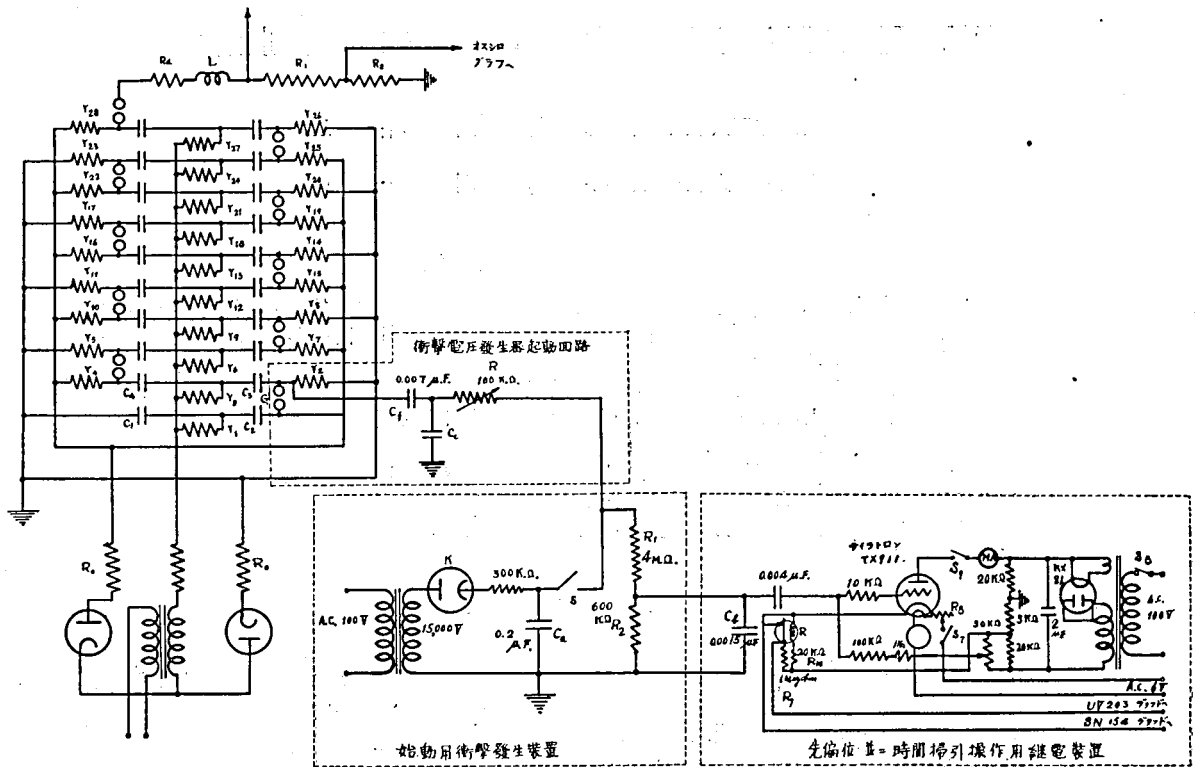
採つてゐる。この場合現象の起動には既述の如く<sup>(1)</sup>中心補助火花間隙を持つ半球に始動用補助火花を與ふる方法に依つて來たのである。

併しながらこの方法に依るも實際問題として乾板上任意の位置に現象を確實に捕捉することは多大の熟練を必要とし、例へば一つの絶縁物の電壓——時間曲線を求むるが如き場合に必要なる多數のオシログラムを得るには、その同期の不確實なために多大のフィルムと勞力を消費する。この同期不確實の原因に關して種々研究の結果これは同期化回路各部分に使用したる火花間隙の火花の遅れの不整、落電器の殘留電荷、並に回路各部分の電磁誘導現象等に依るものなることが明かとなつたため筆者は同期に用ひらるゝ電氣回路の状態、現象發生の方法等に改良を加へ第 1 圖に示すが如き結線を以て  $1\ \mu\text{s}$  程度の現象ならば確實に同位置から常に現象を生起することを得たるを以て茲に改めてその結果を報告する次第である。

## II. 筆者の用ひ居る同期方法

第 1 圖は衝撃電壓發生器の負の衝撃波を出す場合に就ての同期方法を示す結線圖である。

始動用衝撃發生裝置の電鍵  $S$  により衝撃波を發生せしめ、その電壓を衝撃電壓發生器起動回路を通して主衝撃電壓發生器に與へてこれを起動せしむると同時に、始動用衝撃發生裝置よりの發生衝撃波の一部を繼



第 1 圖 衝撃電圧発生器と其起動方式 (正弦波発生の場合)

電装置(先偏位並に時間掃引操作)に導きこれを動作せしめ、同期操作を行ふもので、同期の時間的調整は繼電装置に使用せるサイクロンの格子電圧、並に衝撃電圧発生器起動回路の抵抗  $R$  の調整に依つて行ふ。

### III. 始動用衝撃発生装置に於ける注意

實際操作に當つて注意すべきは、始動用衝撃発生装置に於ける開閉器  $S$  を操作する場合の電磁誘導作用の影響である。繼電装置に使用したるサイクロンは非常に鋭敏に動作する故、不適當なる構成回路を以てしては、サイクロンに正常なる衝撃の来る前に既に誘導作用に依りて動作し、爲に確實なる同期を行ひ難い。従つて始動用衝撃発生装置は繼電回路より可及的遠く置き、更にサイクロン格子回路への導線は被鉛線を用ひて誘導遮蔽を行つた。又  $S$  の構造もコロナ防止型となる必要あることを認めた。 $R_1, R_2$  が圖示の如く相當高く取つてあるのは、この回路への放電電流を小さくし以て他への誘導を少なからしめむとした

るために外ならず。

### IV. 衝撃電圧発生器起動回路に於ける注意

始動衝撃電圧は波頭緩やかな電圧を用ひたのでは到底完全なる同期を期待する事は不可能であつて、第 1 圖 衝撃電圧発生器起動回路に於ける抵抗  $R$  の値は可及的小となし始動間隙  $G'$  に急峻波を加へる方がよい。何となれば急峻波は放電の時間的不整を防止するからである。この點に鑑み筆者は  $R$  の値を最大  $100 \text{ k}\Omega$  に選んだ。

次に主衝撃電圧発生器への起動用電圧印加鎖電點より見たる起動回路側のインピーダンスは出来るだけ大なることが望ましい。起動回路側のインピーダンスは主衝撃電圧発生器の蓄電器  $C_1, C_2$  と並列に入つてゐる爲主發生波形に變歪を來すからである。依て  $\frac{1}{C_1}, \frac{1}{C_2}$ ,  $R$  何れも大なることを要す。筆者の場合には  $C_1$  を  $0.0007 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $R$  を  $100 \text{ k}\Omega$  に取つた。 $C_2$  は導線の漂遊容量である。

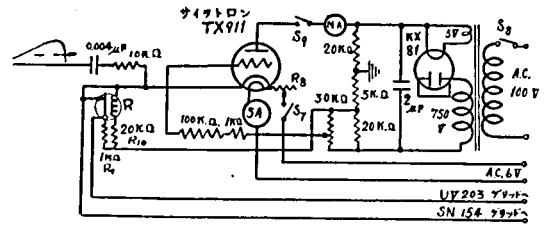
## V. 同期操作に於ける注意

同期回路の各種の電気常数の未だ確定せざる時、これを調整して螢光板上所期の位置に現象を捕捉することは相當手数を要す。これに對して筆者の行ひ居る方法は次の如くである。

オシログラフの時間掃引が終了して再び先偏位が元の状態に復歸する迄には  $1/1000 \sim 1/100$  秒程度の時間を要し、その間螢光板上に光點を認め得るを以て、最初現象を螢光板上に捕捉するためには現象發生を遅らし、掃引繼電裝置を早く動作せしむる時は、現象が掃引終了點に於て認められ得るから、これより次第に現象を早期に生起せしめて同期を得るのが最も確實である。それには衝擊電壓發生器起動回路の抵抗  $R$  を高く、繼電裝置のサイクロトンの格子負電壓を小さくして置いて、掃引終了點に現象を先ず捕へ、次第に  $R$  を小さく、格子電壓を大として、現象を所期の位置に持來すのである。

## VI. 極性に對する起動方式の變更

扱、以上述べたる處は、發生衝擊波が負極性の場合に就てであるが、若し正極性の場合の衝擊波に関しては、始動用電源は負に充電せられなければならない。従て繼電裝置にこの負の衝擊波が與へられる。併し負の衝擊波をサイラトロン格子に加へてもこれを動作せしむる事は出来ない。故に筆者はこの負の始動衝擊波をサイラトロン陰極側に直接與へる事に依りこれを動作せしめた。かくして正極性の場合に於ても、前述の負極性の場合と同様確實なる同期を行ふことを得た。第2圖はその結線を示すものである。



第 2 圖 正波發生の場合の繼電裝置接續圖

## VII. 結 言

以上衝撃電壓發生器と高壓陰極線オシログラフとの同期操作に關して筆者の採用せる方法を述べた。要約すれば

1. 第1圖に示す如き回路を選ぶことに依り、確實なる同期を得たこと。
2. 衝撃電壓發生器起動用回路の抵抗  $R$ , 並に繼電裝置のサイトロソ格子電壓を變化する事に依り任意の位置に現象を捕捉し得たこと。
3. 回路の誘導に注意せねば同期を充分ならしむる事の不可能なる事。
4. 正負兩面撃波發生の場合夫々に適する操作回路を示した事。

## 参考文献

- (1) 上西：電評 27 p. 255 (昭 14)



(86)

## 衝擊電壓特に同截斷波の直視法

## 内 容 梗 概

本文は衝擊電壓波形測定器の内、被測定現象が例へば變壓器の衝擊波特性の如く、繰返し得る現象である場合に、從來の高壓高速度排氣式陰極線オシログラフに據らず、簡単にこれを直視する事によりその現象を観察し得るが如き所謂過渡現象直視装置に關する記述にして、筆者の試作せる装置を説明し、特にサイラトロンを使用した截斷波發生が安定であり、且その截斷時間の制禦が自由なる特徴を有することを論述せり。

## I. 緒 言

衝擊電壓及び電流の波形又は電氣振動の姿態を精緻に知るには、陰極線オシログラフに依るより方法がない。陰極線オシログラフには唯1回しか現象の生起しない、しかも高速度過渡現象を記録し得る高壓陰極線オシログラフと、低速度又は繰返し得る現象を記録し得るブラウン管陰極線オシログラフの2種に分けられる。

各種衝擊電壓特性の研究に於ては、該衝擊現象が極めて短時間なるため、その生起が1回に限られて居ては現在入手し得るブラウン管オシログラフを以てしてはその波形の記録は困難である。故に専ら取扱困難なるのみならず直視に對しても實用上不便であるといふ缺點を持つ處の、高速度高壓陰極線オシログラフを使用して目的を達せざるを得ない。しかし繰返し得る現象、即ち例へば變壓器に於ける衝擊波現象を研究觀測せんとするが如き場合に於ては、現象を繰返し生起せしめ、ブラウン管陰極線オシログラフを用ひ、以て取扱の簡易、直視可能な目的を十分に達し得て、實用上極めて有效なる結果が得られる。所謂過渡現象直視装置が即ちこれである。

過渡現象直視装置に關しては既に多くの試みがある。

筆者は從來のものに比し動作極めて安定にして確實精細な寫眞撮影が可能となると同時に、衝擊截斷波を隨意の條件に於て出し得るゝ装置を考案しこれを變壓器衝擊電壓特性の研究に用ひた。

## II. 装 置

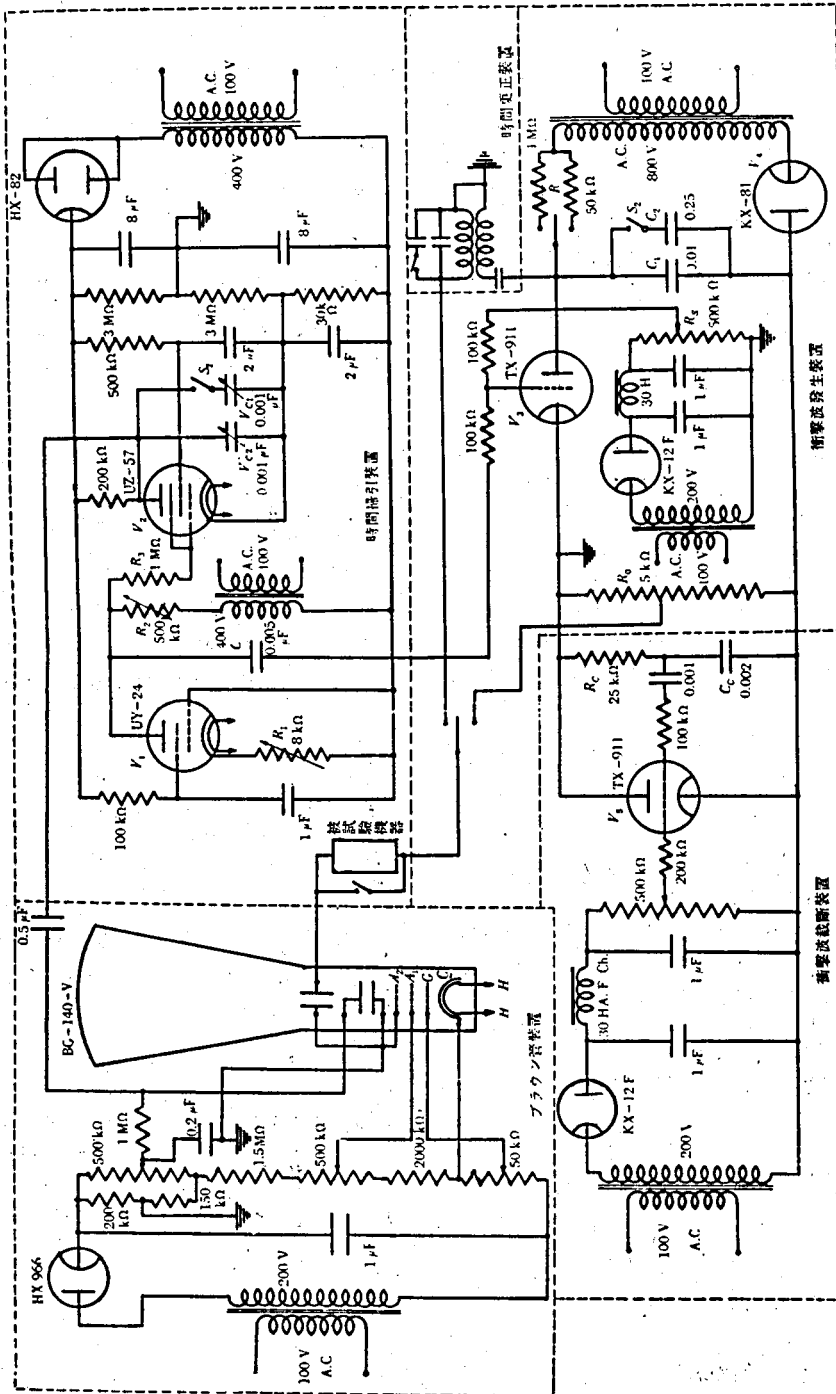
本器は、ブラウン管をオシログラフ装置として用ふるが故に、時間掃引装置、及び衝擊電壓發生裝置の組合せより成る。衝擊電壓は毎秒60回繰返し發生せしめ、これをオシログラフ裝置の時間掃引週期と同期せしめ、以て、ブラウン管の螢光膜上に重疊したる現象の波形を得、これが觀測又は寫眞の撮影を可能ならしむるものである。

## (a) 時間掃引裝置

第1圖中に示す、四極管  $V_1$  の遮蔽格子電位を正に保つてこれをダイナトロンとして動作せしめ、該  $V_1$  の陽極電壓を交流を以て供給するときは  $V_1$  の陽極端子電壓は抵抗  $R_0$  を調整することに依り給與交流電壓の正半波の波高値附近に於てその電壓値を跳躍上昇せしめ得られ、該跳躍電壓は一は  $C$  を通して衝擊電壓發生器を同期的に動作せしむるに役立ち、一は抵抗  $R_0$  を通して五極管  $V_2$  の第1、第3格子に加へられて跳躍瞬時のみ  $V_2$  に電流を通ずる。かくて  $V_2$ 、又は  $V_{11}$  の電荷を放電せしめ以て該蓄電器の一端子をブラウン管に接續してブラウン管に等速時間掃引を毎波1回生起せしむるものである。

## (c) 衝擊電壓發生裝置

第1圖中に示す、 $R_0$ 、 $C_1$  又は  $C_2$ 、及びサイラトロン  $V_3$  を以て作る閉回路が本衝擊電壓發生裝置の主放電回路である。 $R_0$  の中途に端子を設け試験せらるべき機器に發生衝擊波を導入す。 $V_3$  はその格子電壓に依り時間掃引と同期的に動作す。



第 1 圖 過 渡 現 象 直 視 裝 置

## (c) 衝撃波截断装置

発生衝撃電壓波を任意の位置に於て截断し、恰も衝撃電壓が放電間隙の閃絡により截断さるゝ如き場合と同一の波形と効果を有せしめ、これより生ずる種々の現象を研究することは過渡現象直視装置の活用範圍を更に一步進め得る結果となる。筆者は第1圖に於て  $R_0$ ,  $C_0$  等より成る遅延回路を作りこれと截断用サイラトロン  $V_5$  とを並列に主放電抵抗  $R_0$  の兩端子に挿入した。遅延回路のために  $V_5$  の格子に主衝撃発生波と或一定の時間の遅れを有し且同期せられたる正電壓が印加せられ  $V_5$  を動作せしめて截断の目的を達す。截断の時間の調整は  $V_5$  の格子電壓の變化又は  $R_0$  の變化に依り自由且安定に行ふことを得。

## (d) ブラウン管装置

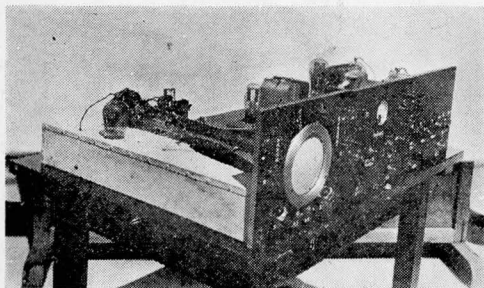
第1圖中に示す。使用ブラウン管は東京電氣製 BG-140-V 型である。

## (e) 時間更正装置

第1圖中に示す。豫め 100 kc 及び 50 kc に更正せられたる共振回路を切換を以て現象偏位板に接續し共振回路に與へられる衝撃波により該共振回路に減衰自由振動を起さしめることに依つて時間更正を行ふ。

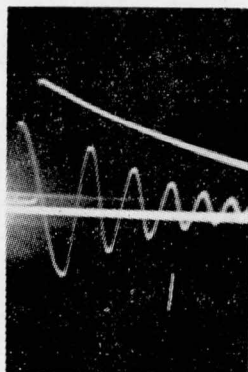
## III. 試 作 結 果

試作せるものは第2圖に示す。本装置に依れば最大掃引速度 1.8 km/sec 即ち  $1 \mu s$  が 1.8 mm を得るも、 $V_{c2}$ ,  $V_{c1}$  を減少せしむるときは最大掃引速度 10 km/sec、即ち  $1 \mu s$  が 10 mm 程度のもも容易に得らる。



第2圖 過渡現象直視装置

第3圖は本装置に依つて、撮影せる衝撃標準波の一例である。實用上相當に明るい室内に於ても何等の覆なくして直視し得られ、且寫眞に撮影せる場合に於て

第3圖 標準衝撃電壓波  
(時間更正波は 100 kc)

も所謂「チラツキ」殆どなく引伸し寫眞を充分利用し得らるゝを以て實用上は  $1 \mu s$  1 mm を以て使用して居る。第4圖は同截断波の一例である。



第4圖 標準衝撃波を途中で截断せる例 (時間更正波は 100 kc)

## IV. 結 言

筆者は本装置を衝撃電壓特性、特に截断波特性の研究に利用しつゝあるがその簡易輕便、得たる結果の明確なるは該研究進行の上に極めて役立つてゐる。特にサイラトロンを使用したる截断波發生が安定であり且その截断時間が任意に調節し得らるゝが如き特徴を有す。

(90)

## 角棒間隙の衝撃火花閃絡特性

### 内容梗概

電氣機器の衝撃電壓試験に於ける印加電壓の大きさは、目下各國共に角棒間隙の間隙長を基準として決定せんとする状態であるが、其電氣的特性は測定の方法に依り著しく異つた結果となつて現はれるため、茲に該間隙の最小火花閃絡電壓を周到なる注意の下に測定した。本文は其實験結果であつて、

- 第 I 節は序言、
- 第 II 節は供試角棒間隙の構造並に配置を述べたるもの、
- 第 III 節は印加衝撃電壓發生裝置に就て、
- 第 IV 節は發生衝撃波の波形、波高値及び其等の測定に就て、
- 第 V 節は實驗中の大氣狀態の測定方法に就て、
- 第 VI 節は實驗の方法を詳述せり、
- 第 VII 節は實驗結果、
- 第 VIII 節は其の論議を行ひたるものにして I. E. C. 並に E. E. I.—N. E. M. A. の規定と比較検討せり、
- 第 IX 節は緒言なり。

### I. 序 言

(1)  
衝撃電壓試験規定案に依れば、印加電壓の大きさは角棒間隙の間隙長を基準として決定され居り、角棒間隙の特性は今後衝撃試験に關して重要な意味を持つ事となつた。然るに同一間隙長に制定したものと雖も、其衝撃放電電壓測定値は測定方法、及び大氣の狀態に依て著しく影響を受くると考へらるゝに依り、其影響の程度を調査するために、上述せる衝撃電壓發生器を用ひて角棒間隙の最小火花閃絡電壓の測定を行ひたり。將來角棒間隙校正曲線制定に當つての參考資料とならば幸である。

### II. 供試角棒間隙の構造並に配置

供試角棒間隙は各邊 12.5 mm の四角銅製棒を間隙面の稜角が成可く尖鋭なる様軸に對して直角に截斷したものを水平に相對せしめた。前文、衝撃電壓發生裝置に關する實驗的研究中の第 8 圖に之を示す。工業委員會の規定案に依る角棒間隙は第 1 圖に於て、

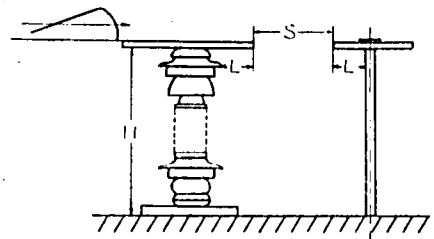
$$H > (1.3S + 10) \text{ cm}$$

$$L > \frac{1}{2} S \text{ cm}$$

である事を要すとされて居る。筆者の用ひたものは充分上記の條件に適合する。本角棒間隙は球間隙と並列に衝撃電壓發生器高壓側に結んだ。配置位置を第 2 圖に示す。

### III. 衝撃電壓發生裝置

供試間隙に電壓を印加すべき衝撃電壓發生裝置は、前節までに述べたる屋外衝撃電壓發生裝置にして、結線結線並に配置は前文、衝撃電壓發生裝置に關する實驗的研究中の第 1 圖、第 3 圖、第 4 圖並に本文第 2 圖によりて示さる。又此場合の回路常數の測定結果を第 3 圖中に示す。

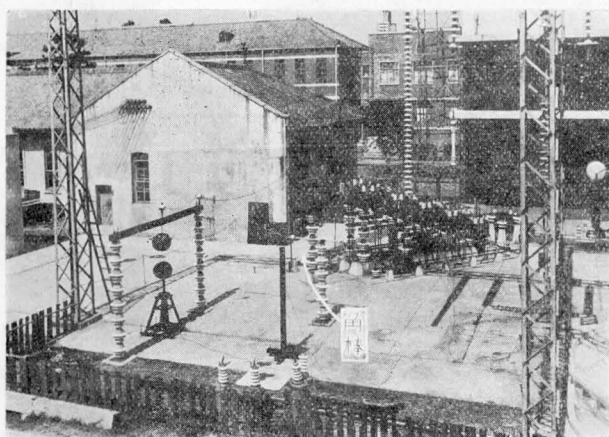


第 1 圖 標準角棒間隙

## V. 大 気 状 態

實驗中は其大氣狀態として、氣壓、氣溫、濕度を記録した。

1. 氣壓 氣壓は Fortin 晴雨計を用ひて測定した。
2. 氣溫 氣溫は最小目測  $0.1^{\circ}\text{C}$  目まで讀取り得る寒暖計を使用して測定した。



第 2 圖 角棒間隙位置

## IV. 印加電壓と其測定

## 1. 波 形

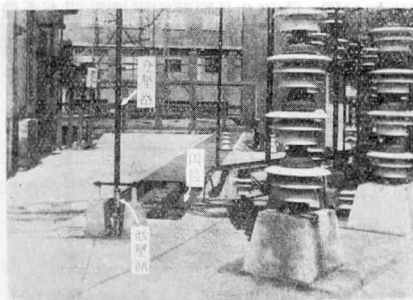
筆者の場合は裝置の都合上  $(1\sim 40)\mu\text{S}$  の波形を以て試験した。之は工業委員會規定案の波形許容範圍内に在る。波形が上記の値を持つか否かは分壓器と陰極線オシログラフとを以て確めた。分壓器としては抵抗分壓器を使用した。第4圖に之を示す。分壓器と陰極線オシログラフとの回路構成は第5圖に示す如し。分壓器よりオシログラフに到る導線は徑 4 mm の銅線を用ひ、外被導體  $C$  は内直徑 27 cm の鐵圓筒 25 m を使用した。

## 2. 波 高 値

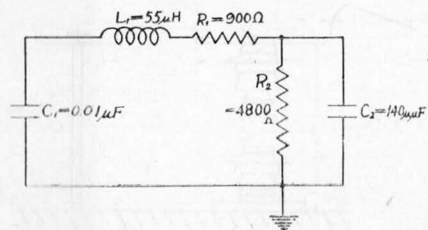
衝擊波の波高値の測定は總て徑 50 cm の球間隙に依つた。放電率は50%に取つた。電壓校正表として、A.I.E.E. 1937年12月の推奨案に依れば第1表の如し。之を圖示せば第6圖の如くなる。筆者は之を使用球間隙の校正に用ひた。

間 隙 距 離 cm	放 電 電 壓	
	60サイクル 負衝撃波高値 kV	正衝撃波高値 kV
5.0	136	136
7.5	197	197
10.5	260	260
12.5	317	319
15.0	367	374
17.5	411	426
20.0	451	474
22.5	486	511
25.0	519	547
30.0	573	605
35.0	615	655
40.0	651	698
45.0	681	732
50.0	707	758

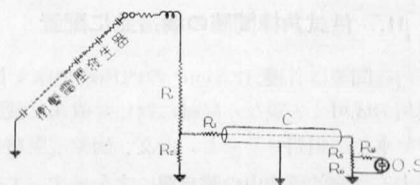
第 1 表



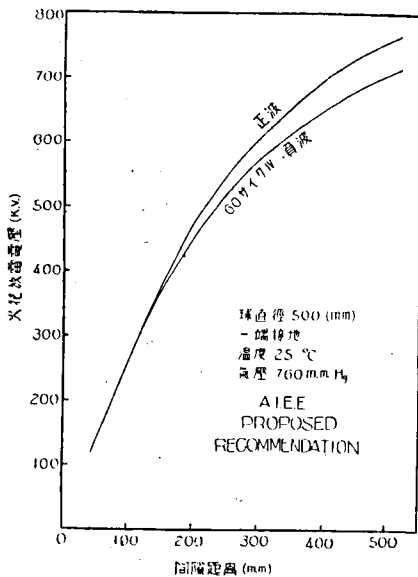
第 4 圖 抵抗分壓器



第 3 圖 回路常數



第 5 圖 オシログラフへの導線



第 6 圖 球間隙校正曲線

3. 湿度 湿度は乾濕球湿度計に依て測定した。湿度表は大日本氣象學會刊行の氣象常用表鈔に依つた。
4. 標準状態 標準状態として、気温 25°C、気圧 760 mm Hg 湿度 11 g/m<sup>3</sup> を採用した。

## VI. 實驗の方法

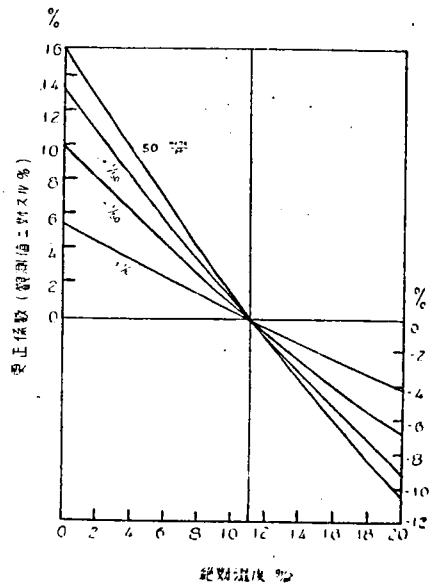
上述の準備の下に、供試間隙に標準波を加へ、放電率50%の下に最小火花閃絡電壓を求めた。それには次の順序で行つた。

衝擊電壓發生裝置高壓側に、電壓測定用球間隙と、供試球間隙とを並列に結び、先づ球間隙を試験すべき間隙に保ち、球間隙を此球間隙の閃絡電壓より少しく高い閃絡電壓に相當せるだけの距離に保たしめ、球間隙のみを放電せしむべくなし、波形が標準波なるか否かは、球間隙の閃絡電壓より少しく低き衝擊發生電壓値の下に確かめた。之には陰極線オシログラフを使用し、發生電壓波形を撮影して行つた。

次に角棒間隙を閃絡せしむるに足るが如き衝擊電壓を印加し、其場合第一段蓄電器の充電電壓を室内に置きたる靜電電圧計で讀む。一定充電電壓の下に10回づつ電壓印加を行ひ、此場合の放電閃絡回数を求め、之を種々の充電電壓値の下に行ひ、充電電壓と放電率の關係を圖示する。之より球間隙50%放電率に相當する蓄電器充電電壓を求める。

次に發生波形に影響せざる程度に球間隙の間隙距離を少しく廣げ、球間隙を近付け、上に求めたる50%放電率に相當する一定の蓄電器充電電壓を絶えず印加しつゝ、球間隔の放電率と球間隙長との關係曲線を求め之より50%放電率に相當する球間隙長を求む。

此球間隙長に相當する放電電壓の大きさを第6圖より知り、之に空氣密度に關する補正を行ふ。此値が即ち球間隙の放電電壓なるに依り、更に之を標準状態即ち気温 25°C 気壓 760 mm の場合に更正し、更に湿度に關する更正も行つた。茲に湿度更正は何を基準にして行ふかと問題である。それは湿度に關する此等放



第 7 圖 Allibone 氏湿度更正曲線 (J.I.E.E. Dec. 1937)

電間隙の特性に關する報告少く、特に負波に對する實驗結果は極めて稀であるからである。茲には便宜上 Allibone 氏のものを用ひた。第7圖に之を示す。

## VII. 實驗結果

前項の實驗方法に従つて前後2回の實驗を日を改めて行つた。得たる結果下記の如し。

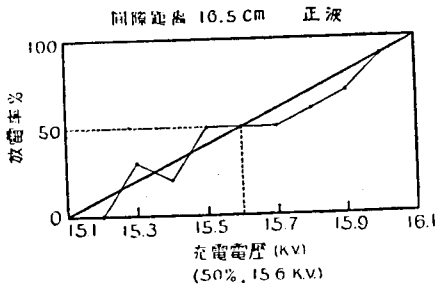
### (1) 第1回實驗

#### (a) 間隙長 16.5 cm の場合

##### i. 正波の場合

第1段變壓器充電電壓と放電率との關係は第2表Aに示す如し。この關係を圖示する事第8圖の如くせば之より50%放電率に相當する充電電壓が 15.6 kV なる





第 8 圖

事を知る。此 15.6 kV なる充電電圧に相當する發生衝擊電壓を球間隙を以て測定するに、充電電壓を 15.6 kV となし置き球間隙距離と放電率との關係を求めれば第 2 表 B に示す如くなる。之より 50% 放電率に相當する間隙距離が 48.5 mm なる事を知る。次に球間隙距離が 48.5 mm に相當する球間隙放電電壓を第 6 圖より求めれば 133 kV なるを知る。更に空氣密度に對する更正を行ひ 141 kV を得。之に對し第 2 表 C に示す如く標準狀態に對する換算を行ひ 143 kV を得たるなり。

## ii. 負波の場合

同上の實驗を行ひ第 3 表を得たり。

## (b) 間隙長 34.3 cm の場合

- i. 正波の場合 第 4 表
- ii. 負波の場合 第 5 表

## (c) 間隙長 52.4 cm の場合

- i. 正波の場合 第 6 表
- ii. 負波の場合 第 7 表

## (d) 間隙長 61.0 cm の場合

- i. 正波の場合 第 8 表
- ii. 負波の場合 第 9 表

## (2) 第 2 回實驗

第 1 回實驗と全く同様に行ひ次の結果を得た。

## (a) 間隙長 16.5 cm の場合

- i. 正波の場合 第 10 表
- ii. 負波の場合 第 11 表

## (b) 間隙長 34.3 cm の場合

- i. 正波の場合 第 12 表
- ii. 負波の場合 第 13 表

## (c) 間隙長 52.4 cm の場合

- i. 正波の場合 第 14 表
- ii. 負波の場合 第 15 表

## (d) 間隙長 61.0 cm の場合

- i. 正波の場合 第 16 表
- ii. 負波の場合 第 17 表

A 充電率トノ 放係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣象狀態												
	15.0	×	×	×	×	×	×	×	×	0	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 度 度 度 度 度	760.8 mm 11.7°C 1.048 6.0°C 5.7°C 36% 3.8 g/m³				
	15.2	×	×	×	×	×	×	×	×	0							
	15.3	×	○	×	×	×	○	×	×	×				30			
	15.4	×	×	×	○	×	×	×	×	×				20			
	15.5	○	×	○	×	○	×	○	×	×				50			
	15.6	×	×	×	×	×	○	×	○	×				50			
	15.7	×	×	×	×	○	×	×	×	×				50			
	15.8	○	×	○	×	×	×	×	○	○				60			
	15.9	○	○	×	×	×	○	○	○	○				70			
	16.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○				100			
	16.1	○	○	○	○	○	○	○	○	○				100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 15.6 kV																	
B 球電率トノ 放係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣象狀態												
	4.5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 度 度 度 度 度	761.05 mm 7.85°C 1.061 4.1°C 3.75°C 50% 4.1 g/m³			
	4.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100						
	4.7	○	○	×	○	○	○	○	○	○	90						
	4.8	○	○	○	×	×	×	×	×	×	50						
	4.9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	10						
	5.0	×	×	×	×	○	×	×	×	×	10						
	5.1	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0						
	50%放電率ニ相當スル間隙長 48.5 mm																
	上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 133 kV				空氣密度更正ヲ行ヒタル値 141 kV												
	C	標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 135 kV		濕度ニ對スル更正 143 kV											

第 2 表 供試間隙長: 16.5 cm 極性: 正波

A 充電電壓ト放電率トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣 象 狀 態		
		○閃絡	×非閃絡		氣溫 空氣濕度 濕球溫度 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 度	
	15.1	×	×	0			759.6 mm
	15.2	×	×	10			3.9°C
	15.3	○	×	10			1.075
	15.4	×	×	20			2.5°C
	15.5	×	×	30			1.4°C
	15.6	○	×	20			75%
	15.7	×	○	30			4.8 g/m <sup>3</sup>
	15.8	×	×	20			
	15.9	×	×	50			
	16.0	○	×	60			
	16.1	×	×	40			
	16.2	×	×	30			
	16.3	○	×	30			
	16.4	○	×	80			
	16.5	×	○	70			
	16.6	○	○	80			
	16.7	○	×	90			
	16.8	○	○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 15.95 kV							
B 球電率トノ關係 間隙長ト放係	間 隙 長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣 象 狀 態		
		○閃絡	×非閃絡		氣溫 空氣濕度 濕球溫度 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 度	
	5.0	×	×	0			759.6 mm
	4.9	×	×	0			3.0°C
	4.8	×	○	50			1.079
	4.7	○	○	100			1.7°C
50%放電率ニ相當スル間隙長 48.0 mm							
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 132 kV				空氣密度更正ヲ行ヒタル値 142.5 kV			
C 標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 132.5 kV		濕度ニ對スル更正 140 kV			

第 3 表 供試間隙長: 16.5 cm 極性: 負波

A 充電電壓トノ關係 充電電壓ト放係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣 象 狀 態		
		○閃絡	×非閃絡		氣溫 空氣濕度 濕球溫度 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 度	
	29.2	×	×	0			757.5 mm
	29.6	○	×	10			12.5°C
	30.0	○	×	10			1.040
	30.4	×	○	40			7.8°C
	30.8	○	×	30			4.7°C
	31.2	×	○	80			46%
	31.6	○	○	100			5 g/m <sup>3</sup>
50%放電率ニ相當スル充電電壓 30.4 kV							
B 球電率トノ關係 間隙長ト放係	間 隙 長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣 象 狀 態		
		○閃絡	×非閃絡		氣溫 空氣濕度 濕球溫度 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 度	
	9.4	○	○	100			758.2 mm
	9.5	○	○	80			8.0°C
	9.6	○	×	20			1.057
	9.7	×	×	0			5.2°C
	9.8	×	×	0			2.8°C
50%放電率ニ相當スル間隙長 95.5 mm							
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 248 kV				空氣密度更正ヲ行ヒタル値 262 kV			
C 標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 252 kV		濕度ニ對スル更正 270 kV			

第 4 表 供試間隙長: 34.3 cm 極性: 正波

A 充電電壓ト放電率トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡										放電率 (%)	氣象狀態		
	29.2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	氣温 空濕 相對 球溫 度差 對濕 度	壓 度 相對 球溫 度差 對濕 度	757.3 mm 15°C 1.031 8.4°C 6.6°C 35% 4.5 g/m³
	29.6	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	30			
	30.0	×	○	×	×	×	×	×	○	×	×	20			
	30.4	○	×	×	×	○	○	×	×	○	×	40			
	30.8	×	×	×	○	×	×	×	○	×	×	50			
	31.2	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○	90			
	31.6	○	×	○	○	○	×	×	○	○	○	70			
	32.0	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○	70			
	32.4	○	○	○	○	×	○	×	×	×	×	60			
	32.8	×	○	○	○	○	○	×	○	×	×	70			
	33.2	×	○	○	○	○	×	○	×	○	○	90			
	33.6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 31.4 kV															
B 球電率トノ關係 間隙長トノ關係 放係	間 隙 長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡										放電率 (%)	氣象狀態		
	9.7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100	氣温 空濕 相對 球溫 度差 對濕 度	壓 度 相對 球溫 度差 對濕 度	758.4 mm 7.1°C 1.062 4.8°C 2.3°C 66% 5 g/m³
	9.8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	90			
	9.9	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0			
	10.0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0			
	50%放電率ニ相當スル間隙長 98.5 mm														
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 257 kV												空氣密度更正ヲ行ヒタル値 273 kV			
C	標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正				265 kV		濕度ニ對スル更正		280.5 kV				

第 5 表 供試間隙長: 34.3 cm 極性: 負波

A 充電電壓ト放電率トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡										放電率 (%)	氣象狀態					
	40.0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	氣溫 空濕 相對 球溫 度差 對濕 度	壓 度 相對 球溫 度差 對濕 度	760.4 mm 9.2°C 1.057 5.5°C 3.7°C 52% 4.6 g/m³			
	40.4	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	10						
	40.8	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	10						
	41.2	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	10						
	41.6	×	×	×	○	×	×	○	×	○	×	30						
	42.0	○	○	×	○	○	×	○	○	○	×	70						
	42.4	×	×	○	○	○	×	×	×	×	○	40						
	42.8	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	80						
	43.2	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	80						
	43.6	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	90						
	44.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100						
50%放電率ニ相當スル充電電壓 42.0kV																		
B 球電率トノ關係 間隙長トノ關係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡										放電率 (%)	氣象狀態					
	13.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100	氣溫 空濕 相對 球溫 度差 對濕 度	壓 度 相對 球溫 度差 對濕 度	759.3 mm 5.9°C 1.067 4.3°C 1.6°C 74% 5.4 g/m³			
	13.4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100						
	13.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0						
	13.6	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	10						
	13.7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0						
	50%放電率ニ相當スル間隙長 134.5 mm																	
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 342kV												空氣密度更正ヲ行ヒタル値 365kV						
C	標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正				345kV				濕度ニ對スル更正 371kV							

第 6 表 供試間隙長: 52.4 cm 極性: 正波

A 充電電壓ト放電率トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
	45.6	× × × × × × × × × ×	0	氣溫 空氣濕度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 濕度 度	759.7 mm 9.0°C 1.056 5.8°C 3.2°C 57% 5 g/m³
	46.0	× × × × × × × × × ×	10			
	46.4	× × × × × × × × × ×	0			
	46.8	× × × × × × × × × ×	10			
	47.2	× ○ × × × × ○ × × ×	30			
	47.6	○ × × × × ○ ○ ○ × ×	60			
	48.0	○ ○ ○ ○ × ○ ○ × × ×	70			
	48.6	○ × × × × ○ ○ ○ × ×	70			
	48.8	○ ○ ○ ○ × ○ × × × ×	60			
	49.2	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ × × ×	90			
	49.6	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 47.8 kV						
B 球電率トノ關係 球間隙長トノ關係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
	15.9	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	氣溫 空氣濕度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 密度 溫度 差 濕度 度	759.1 mm 7.1°C 1.063 5.1°C 2.0°C 70% 5.5 g/m³
	16.0	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
	16.1	× ○ ○ ○ ○ × × × ○ ○	60			
	16.2	× ○ × × × × × × × ×	10			
	16.3	× × × × × × × × × ×	0			
	50%放電率ニ相當スル間隙長 161 mm					
	上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 387 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 411.5 kV		
C 標準狀態ヘノ換算 相對密度ニ對スル更正 389.5 kV 濕度ニ對スル更正 410.5 kV						

第 7 表 供試間隙長: 52.4 cm 極性: 負波

A 充電率トノ關係ト放電	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
	45.2	× × × × × × × × × ×	0	氣溫	壓度	759.0 mm
	45.6	× × × × ○ × × × × ×	10	濕度	15.1°C	
	46.4	× ○ ○ × × ○ × × ○ ×	40	空氣相對密度	1.033	
	47.2	× × × ○ × × × × × ×	30	濕球溫度	7.7°C	
	48.0	○ ○ × × ○ × × ○ ○ ○	60	濕度差	7.4°C	
	48.4	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	相對濕度	29%	
	48.8	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	絕對濕度	3.7 g/m³	
	50%放電率＝相當スル充電電壓 468 kV					
	B 球電率トノ關係ト放電	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態	
15.5		○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	氣溫	壓度	757.9 mm
15.6		○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	90	濕度	18.0°C	
15.7		○ ○ ○ ○ × ○ ○ ○ × ×	70	空氣相對密度	1.021	
15.8		○ × ○ ○ ○ ○ × ○ ○ ×	70	濕球溫度	10.1°C	
15.9		× ○ ○ × × × × ○ × ×	30	濕度差	7.9°C	
16.0		× × × ○ × × ○ × × ×	20	相對濕度	31%	
16.1		× ○ × × × × ○ × × ×	20	絕對濕度	4.8 g/m³	
16.2		× × × × × × × × × ×	0			
50%放電率＝相當スル間隙長 158.5 mm						
上記間隙距離＝相當スル放電電壓 392 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 400.2 kV			
C 標準狀態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正 387.4 kV		濕度ニ對スル更正 421 kV			

第 8 表 供試間隙長: 61.0 cm 極性: 正波

A 充電電壓ト放電率トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
				氣溫 濕度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 度 度 度 度 度 度	759.2 mm 12.8°C 1.040 6.5°C 6.3°C 33% 3.7 g/m <sup>3</sup>
	49.2	× × × × × × × × × ×	0			
	49.6	○ × × × × × × × × ×	10			
	50.0	○ × × × ○ × × × × ×	20			
	50.4	○ × ○ ○ × × × × ○ ×	40			
	50.8	○ × × × × × ○ ○ × ×	30			
	51.2	○ × × × × × ○ × × ×	40			
	51.6	○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ×	80			
	52.0	○ × × ○ ○ × ○ × × ×	50			
	52.4	× × × × × × × × ○ ○	40			
	52.8	○ ○ ○ ○ ○ × ○ ○ × ×	70			
	53.2	× ○ ○ ○ ○ × ○ ○ ○ ○	90			
	53.6	× ○ ○ ○ × ○ ○ ○ ○ ○	80			
	54.0	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 51.6 kV						
B 球電率トノ關係 間隙長トノ關係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
				氣溫 濕度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 度 度 度 度 度 度	757.4 mm 17.5°C 1.022 9.6°C 7.9°C 30% 4.5 g/m <sup>3</sup>
	18.4	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
	18.5	× ○ × ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	80			
	18.6	× × × × ○ × × × × ×	10			
	18.7	× × × × × × × × × ×	0			
50%放電率ニ相當スル間隙長 185.5 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 427 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 436.4 kV			
C	標準狀態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正	419.6 kV	濕度ニ對スル更正	447.3 kV	

第 9 表 供試間隙長: 61.0 cm 極性: 負波

A 充電電壓トノ關係 充電電壓トノ關係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
				氣溫 濕度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 度 度 度 度 度 度	754.6 mm 16.8°C 1.021 11.6°C 5.2°C 48.2% 6.8 g/m <sup>3</sup>
	15.6	× × × × × × × × × ×	0			
	15.8	○				
	16.4	○ ○ ○ ○ ×				
	16.6	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 16.1 kV						
B 球電率トノ關係 間隙長トノ關係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
				氣溫 濕度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度差 相對濕度 絕對濕度	壓 度 度 度 度 度 度	754.2 mm 18.6°C 1.014 12.4°C 6.2°C 42.8% 6.7 g/m <sup>3</sup>
	5.1	× × × × × × × × × ×	0			
	5.0	× × × ○ × × ○ ○ × ×	30			
	4.8	○ ○ × ○ ○ ○ × × ○ ×	60			
	4.7	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル間隙長 49 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 134 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 135.9 kV			
C	標準狀態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正	133.1 kV	濕度ニ對スル更正	139.6 kV	

第 10 表 供試間隙長: 16.5 cm 極性: 正波

A	充 電 電 壓 (kV)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態		
				氣 溫 空 氣 濕 球 濕 度 相 對 濕 度 絶 對	壓 度 相 對 密 度 差 度 濕 度 濕 度	
充電率 トノ 電壓 トノ 關係 放係	15.0	× × × × × × × × × ×	0	754.3 mm	18.0°C	1.018
	15.2	× × × × × × × × ○ ○	20	12.0°C	6.0°C	43.0%
	15.8	○ × ○ ○		6.5 g/m <sup>3</sup>		
	16.2	○ ○ ○ ○ ○ ○ ×				
	16.4	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 15.7 kV						
B	間 隙 長 (cm)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態		
				氣 溫 空 氣 濕 球 濕 度 相 對 濕 度 絶 對	壓 度 相 對 密 度 差 度 濕 度 濕 度	
球電率 トノ 間隙長 トノ 關係 放係	4.9	× × × × × × × × × ×	0	754.2 mm	18.6°C	1.014
	4.8	× × × × ○ ○ × × ○ ×	30	12.3°C	6.3°C	42.3%
	4.7	× × × × ○ × ○ ○ ○ ○	50	6.7 g/m <sup>3</sup>		
	4.6	○ ○ ○ × ○				
	4.5	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル間隙長 47 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 127.5 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 129.3 kV			
C 標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 127.0 kV		濕度ニ對スル更正 132.0 kV		

第 11 表 供試間隙長: 16.5 cm 極性: 負波

A	充 電 電 壓 (kV)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態		
				氣 溫 空 氣 濕 球 濕 度 相 對 濕 度 絶 對	壓 度 相 對 密 度 差 度 濕 度 濕 度	
充電率 トノ 電壓 トノ 關係 放係	30.0	× × × × × × × × × ×	0	753.9 mm	19.2°C	1.013
	30.2	× × ○		12.5°C	6.7°C	40.0%
	30.4	× × × ○		6.5 g/m <sup>3</sup>		
	31.4	○ ○ ○ × × ○ ○ ○ ○ ○	80			
	31.6	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100			
50%放電率ニ相當スル充電電壓 30.8 kV						
B	間 隙 長 (cm)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態		
				氣 溫 空 氣 濕 球 濕 度 相 對 濕 度 絶 對	壓 度 相 對 密 度 差 度 濕 度 濕 度	
球電率 トノ 間隙長 トノ 關係 放係	9.7	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	753.8 mm	19.4°C	1.011
	9.8	○ ×		12.5°C	6.9°C	39.0%
	9.9	× × ○		6.4 g/m <sup>3</sup>		
	10.0	× × × × × × × × × ×	0			
50%放電率ニ相當スル間隙長 98.5 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 256 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 258.8 kV			
C 標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 255.1 kV		濕度ニ對スル更正 268.6 kV		

第 12 表 供試間隙長: 34.3 cm 極性: 正波

A 充電電率 トノ関係 放係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象状態		
	29.6 29.8 33.0 33.2 33.4 33.6 33.8 34.0	×××××××××× ×××××××××○ ○○○×○○× ○○○× ○○○○○× ○○○○× ○○○○○× ○○○○○	0 10      100	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 相對 密度 差 度 濕度	753.5 mm 19.5°C 1.007 12.7°C 6.8°C 39.7% 6.6 g/m <sup>3</sup>
50%放電率ニ相當スル充電電壓 31.8 kV						
B 球電率 トノ関係 放係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象状態		
	10.1 10.2 10.3	○○○○○○○○○○ ××○○○××○×× ××××××××××	100 40 0	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 相對 密度 差 度 濕度	753.6 mm 19.6°C 1.007 12.7°C 6.9°C 39.4% 6.5 g/m <sup>3</sup>
50%放電率ニ相當スル間隙長 102 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 264.0 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 265.8 kV			
C	標準状態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正	264.0 kV	濕度ニ對スル更正	274.3 kV	

第 13 表 供試間隙長: 34.3 cm 極性: 負波

A 充電電率 トノ関係 放係	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象状態		
	42.4 42.8 43.2 44.0 45.6 46.4 46.8	×××××××××× ×○ ×××××××○×○ ○××××○×○××○ ○○○○× ○○○○○ ○○○○○ ○○○○○	0 20 40  80 100	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 相對 密度 差 度 濕度	754.8 mm 19.9°C 1.011 17.0°C 2.9°C 71.0% 12.2 g/m <sup>3</sup>
50%放電率ニ相當スル充電電壓 44.6 kV						
B 球電率 トノ関係 放係	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象状態		
	15.4 15.3 15.2 15.0 14.9 14.8	×××××××××× ×○×××××××× ××××××○××× ○○×○×○○○○○ ○×○○○○○○○ ○○○○○○○○○	0 10 20 70 90 100	氣溫 空氣 濕球 濕度 相對 濕度 絕對	壓 度 相對 密度 差 度 濕度	757.6 mm 15.0°C 1.031 10.5°C 4.5°C 51.5% 6.6 g/m <sup>3</sup>
50%放電率ニ相當スル間隙長 151 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 376.5 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 388.2 kV			
C	標準状態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正	384.0 kV	濕度ニ對スル更正	379.7 kV	

第 14 表 供試間隙長: 52.4 cm 極性: 正波

	充 電 電 壓 (kV)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態
A 充 電 率 トノ 關 係 ト 關 放 係	49.2	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	氣 溫 21.0°C 濕 度 1.005 相 對 濕 度 17.0°C 空 氣 球 溫 度 差 4.0°C 濕 相 對 濕 度 62.0% 絶 對 濕 度 11.2 g/m <sup>3</sup>
	48.8	○ ○ ○ ○ ×	10	
	48.0	○ ○ ×		
	47.2	○ ×		
	46.4	○ ×		
	45.6	× × × × × × × ○ × ×		
	45.2	× × ○		
	44.8	× × × × × × ○		
	44.0	× × × × ○		
	43.6	× × × × × × × × × ×	0	
50%放電率=相當スル充電電壓 46.4 kV				
	間 隙 長 (cm)	火 花 閃 絡 ○閃 絡 ×非閃絡	放 電 率 (%)	氣 象 狀 態
B 電 率 トノ 關 係 ト 關 放 係	16.0	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	100	氣 溫 21.8°C 濕 度 1.002 相 對 濕 度 17.2°C 空 氣 球 溫 度 差 4.6°C 濕 相 對 濕 度 58.2% 絶 對 濕 度 11.1 g/m <sup>3</sup>
	16.1	○ ○ ○ ○ ×	0	
	16.2	× × ○		
	16.3	× × × × × × × × × ×		
	50%放電率=相當スル間隙長 161.5 mm			
上記間隙距離=相當スル放電電壓 388.0 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 388.8 kV	
C	標準狀態ヘノ換算	相對密度=對スル更正	386.8 kV	濕度=對スル更正 386.8 kV

第 15 表 供試間隙長: 52.4 cm 極性: 負波

A	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣象狀態								
	48.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	氣溫	壓	757.6 mm
	47.6	○	○	×							濕度	度	16.7°C
	46.4	○	○	×							空氣相對密度	度	1.025
	45.6	×	×	×		○					球溫	度	11.1°C
	45.2	×	×	○							溫度差	度	5.6°C
	44.8	×	×	×	×	○					相對濕度	度	45.1%
	44.4	×	×	×	×	×	×	×	×	×	絕對濕度	度	6.3 g/m³
	50%放電率=相當スル充電電壓 46.2 kV												
	B	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡		放電率 (%)	氣象狀態							
15.5		○	○	○	○	○	○	○	○	○	氣溫	壓	757.1 mm
15.6		○	○	×	×						濕度	度	19.8°C
15.7		×	×	○							空氣相對密度	度	1.014
15.8		×	×	×	×	×	×	×	×	×	球溫	度	12.4°C
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	溫度差	度	7.4°C
											相對濕度	度	36.4%
											絕對濕度	度	6.2 g/m³
50%放電率=相當スル間隙長 156.5 mm													
上記間隙距離=相當スル放電電壓 388.0 kV				空氣密度更正ヲ行ヒタル値 393.4 kV									
C	標準狀態ヘノ換算		相對密度ニ對スル更正 383.8 kV		濕度ニ對スル更正 404.9 kV								

第 16 表 供試間隙長: 61.0 cm 極性: 正波



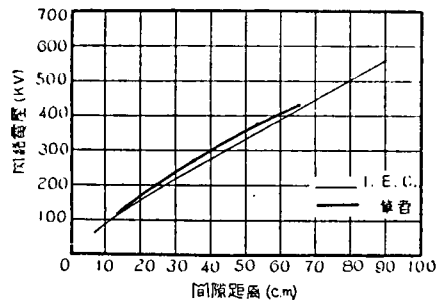
A	充電電壓 (kV)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
	52.8 52.4 52.0 49.6 48.8 48.4 48.0	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ × ○ × × × ○ × × × × × ○ × × × × × × × × ×	100      0	氣壓 溫度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度 相對濕度 絕對濕度	757.4 mm 17.9°C 1.021 11.3°C 6.6°C 39.3% 6.0 g/m <sup>3</sup>	
50%放電率ニ相當スル充電電壓 50.4 kV						
B	間隙長 (cm)	火花閃絡 ○閃絡 ×非閃絡	放電率 (%)	氣象狀態		
	18.4 18.5 18.6 18.7	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ × ○ × × × × × × × ○ × × × × × × × × ×	100   0	氣壓 溫度 空氣相對密度 濕球溫度 濕度 相對濕度 絕對濕度	757.3 mm 18.8°C 1.017 11.7°C 7.1°C 36.7% 5.9 g/m <sup>3</sup>	
50%放電率ニ相當スル間隙長 185.5 mm						
上記間隙距離ニ相當スル放電電壓 428.0 kV			空氣密度更正ヲ行ヒタル値 435.3 kV			
C	標準狀態ヘノ換算	相對密度ニ對スル更正	426.3 kV	濕度ニ對スル更正	445.5 kV	

第 17 表 供試間隙長: 61.0 cm 極性: 負波

## VIII. 論 議

以上の實驗結果を整理し且 I.E.C. 及び米國 E.E.I.-N.E.M.A. の規定案と比較するに第 18 表、第 19 表の如くなる。茲に I.E.C. の規定とは、J.I.E.E. 1937 年に發表の Allibone 氏の論文に依るもので歐洲 8 ケ所の實驗室に於ける結果を平均せるものなり。又 E.E.I.-N.E.M.A. の規定とは E.E. 1937 年 p. 712 に發表の E.E.I.-N.E.M.A. 協同委員會の報告に依つたものである。

又之を圖示せば第 9 圖、第 10 圖を得。

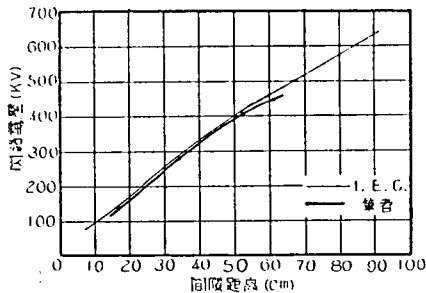
第 9 圖 角棒間隙最小閃絡電壓比較圖  
正波 (25°C 760 mm Hg 11 g/m<sup>3</sup>)

## \* I.E.C. の較正值算出法

I.E.C. の較正值は、其原著 Table I. に依れば、間隙距離が、Round number の場合のみに就て與へられて居るから、7.5 cm, 16.5 cm, 26.0 cm 等の如き場合に對しては、間隙距離と放電電壓との關係曲線を引き、其圖上、内挿法に依り求めたり。又原著は、波頭  $1 \mu\text{S} \pm 50\%$ 、波尾  $50 \mu\text{S} \pm 20\%$ 、放電率 50%、溫度 20°C、氣壓 760 mm 濕度  $11 \text{ g/m}^3$  の場合を示すものであるから、之を筆者の場合の標準狀態即ち溫度 25°C の場合に換算せり。

## \*\* E.E.I.-N.E.M.A. の較正值算出法

E.E.I.-N.E.M.A. 協同委員會の較正值は、其原著 Table II. に依れば、間隙距離が時の round number の場合のみに就て與へられて居る故、時を類に換算し、之より間隙距離と放電電壓との關係曲線を引き、其圖上、所要の各値を内挿法に依り求めたり。又原著は、 $1.5 \times 40 \mu\text{S}$  の波形の下にて、氣壓 760 mm、溫度 25°C、濕度  $15 \text{ g/m}^3$  の場合なるを以て、之を筆者の標準狀態  $11 \text{ g/m}^3$  に換算せり。濕度更正は、正波に對しては同著第 1 圖に示す處に依り更正係数を  $1/1.05$  と取りたり。負波に對しては同著中に與へらるゝ事なきも、正波の場合に比し多少濕度の影響少き事は一般に認めらるゝ處なり。依て此場合の更正係数を  $1/1.04$  と取りたり。



第10圖 角棒間隙最小閃絡電壓比較圖  
負波 (25°C 760 mm Hg 11 g/m<sup>3</sup>)

之を見るに正波特性は I.E.C. のものより大きく現はれ、負波特性は多少小さく現はれて居る。

筆者の結果は、實驗回数少く、且同一實驗を繰返したる爲、之を其儘更正標準値と取る事は出来ないが、2回の測定結果が割合に良く一致して居る事は注目値する。

又前記 I.E.C. の報告に依る歐洲 8ヶ所に於ける實驗結果に於ては、正波負波何れも平均値を中心として ±10% 近くの偏差あり、筆者の結果も此實例に鑑みれば、斯かる衝擊試験に於ては充分なるものと言ひ得べし。

尚閃絡電壓は球間隙並に正波印加の場合の角棒間隙に於ては確實に求め得るが、負波印加の角棒間隙に就

角 棒 間 隙		最小火花閃絡電壓（正波）（25°C, 760 mm Hg, 11 g/m <sup>3</sup> ）							
公稱電壓	間 隙 長	京 都 帝 國 大 學						I. E. C.	E. E. C. N. E. M. A.
		第 1 回		第 2 回		平 均			
		濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ	濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ	濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ		
kV	cm	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
10	7.5	—	—	—	—	—	—	70	71
20	16.5	143.0	135.0	139.6	133.1	141.3	134.0	136	136
30	26.0	—	—	—	—	—	—	197	185
40	34.3	270.0	252.0	268.6	255.1	269.3	253.5	246	237
50	43.0	—	—	—	—	—	—	293	288
60	52.4	371.0	345.0	379.7	384.0	375.3	364.5	342	343
70	61.0	421.0	387.4	404.9	383.8	412.9	385.6	391	394
100	88.0	—	—	—	—	—	—	550	545

第 18 表 角棒間隙最小火花閃絡電壓比較對照表 (正波)

角 棒 間 隙		最小火花閃絡電壓(負波)(25°C, 760 mm Hg, 11 g/m <sup>3</sup> )							
公稱電壓	間 隙 長	京 都 帝 國 大 學						I. E. C.	E. E. C. N. E. M. A.
		第 1 回		第 2 回		平 均			
		濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ	濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ	濕度更正 セルモノ	濕度更正 セザルモノ		
kV	cm	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV	kV
10	7.5	—	—	—	—	—	—	72.7	78
20	16.5	140.0	132.5	132.0	127.0	136.0	129.7	145	148
30	26.0	—	—	—	—	—	—	225	220
40	34.3	280.5	265.0	274.3	264.0	277.4	264.5	293	285
50	43.0	—	—	—	—	—	—	354	346
60	52.4	410.5	389.5	386.8	386.8	398.6	388.1	415	405
70	61.0	447.3	419.6	445.5	426.3	446.4	422.9	465	460
100	88.0	—	—	—	—	—	—	621	626

第 19 表 角棒間隙最小火花閃絡電壓比較對照表 (負波)

ては結果が不同となり易い。衝撃電圧試験の衝撃波極性が正なるは此點より考へて良いと思ふ。

### IX. 結 言

以上、衝撃電圧試験に於ける電圧基準となるべき角棒間隙の最小火花閃絡電圧の測定を行ひたる結果を示

し、歐米各國の結果と比較論議せり。茲に其特性を明にするを得たり。

### 参 考 文 献

- (1) 電學誌、58 225 (昭13)
- (2) Allibone: J.I.E.E. 81 741 (1937)
- (3) Trans. A.I.E.E. 56 712 (1937)

## 衝撃電壓に對するベンドマン避雷器用火花間隙の放電特性

### 内 容 梗 概

第 I 節は緒言にして、ベンドマン避雷器用火花間隙がその如何なる部分に於て如何なる効果をなすかを述べ、本文發表の目的並に意義を明かにせり。

第 II 節は供試間隙の構造並に配置を述べ、

第 III 節にては商用周波数の電壓を加へたる場合の放電特性を、乾燥、注水兩狀態に於て實驗せる結果を示し、以て本文の衝撃電壓特性に對する比較對照の資料を與へたり。

第 IV 節にては衝撃電壓試験を行ふ場合の印加電壓の發生方法、波形、波高値に就て述べたり。

第 V 節は衝撃最小火花閃絡電壓特性と題し、乾燥、注水兩狀態に於ける最小火花閃絡電壓を求めたる實驗方法並にその結果を示せり。

第 VI 節は紫外線の影響と題し、供試間隙の最小火花閃絡電壓が紫外線照射に依り相當低下する實例を示して注意を喚起せり。

第 VII 節は V-T 特性と題し、供試間隙に標準衝撃波を加へたる場合、その波高値と破壊に到る迄の時間との關係を高壓高速陰極線オシログラフを用ゐて測定せる結果を示せり。

第 VIII 節にては尖端圓錐體の效果に就て實驗を行ひ、その特性を論議せり。

第 IX 節は結言なり。

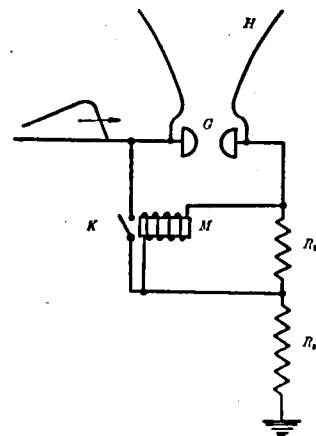
### I. 緒 言

茲に云ふベンドマン避雷器 (Bendmann Ableiter) とは、A.E.G. 社の發表せる型のものにして、第 1 圖に示す如く、避雷器放電回路の一部に抵抗  $R_1$ ,  $R_2$  を入れ、これを流るゝ雷電流並にその續流に依る電壓降下を以て、繼電器  $M$  を動作せしめ、接觸片  $K$  により主放電間隙  $G$  を短絡せしめて、主間隙の弧光を消滅せしめ、かくて  $R_1$  には電流を通ぜず、従てその電壓降下なくなり、繼電器は開放せられ、かくて完全に續流を遮斷するが如き機構のものなり。茲に間隙  $G$  として古くより使用せられたるものは招弧角間隙のみであつたが、火花の遅れを小ならしめ且、極性に依る放電特性の差異をも小ならしめむが爲に、これに球間隙を組合せたものが使用せられて居るのである。

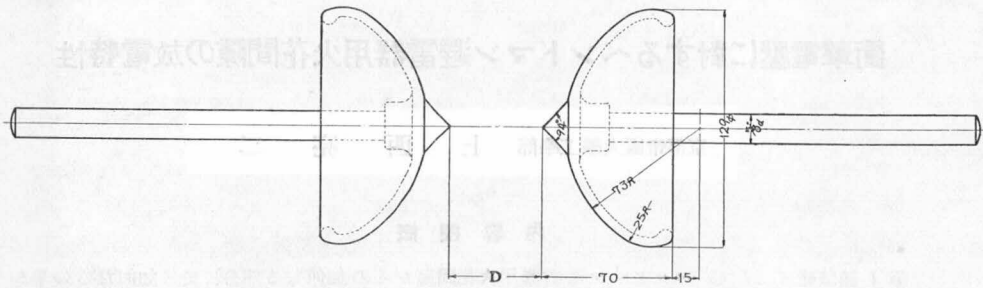
茲に取扱へる間隙は圖中  $G$  にして、本文はその招弧角を除いた主放電部分の特性を調査したのである。

最近一般電氣機器の衝撃電壓試験が各所に於て行はるゝが、茲に云ふが如きベンドマン避雷器用放電間隙の衝撃電壓特性に關する研究を行ひたるものはその例僅少なり。依て筆者等は本間隙の衝撃電壓特性を明に

せんと企圖し、これが一般放電特性を調査検討したるものであつて、乾燥、注水兩狀態に於ける放電特性の相違を明かにし、尖端圓錐體の效果を調べ、以てベンドマン避雷器の衝撃電壓試験に對する一資料を與へむとする次第なり。



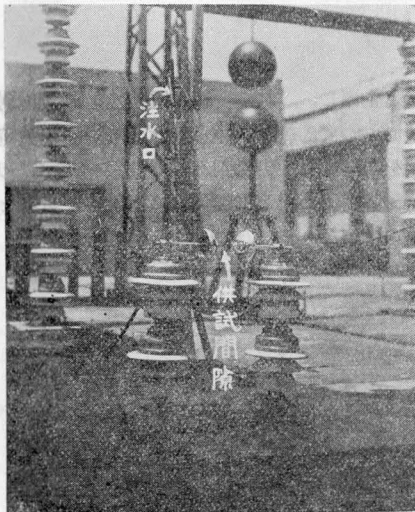
第 1 圖 ベンドマン避雷器



第 2 圖 ベンドマン避雷器火花放電電極

## II. 供試間隙の構造並に配置

供試ベンドマン避雷器用火花間隙の電極は径約 145 mm の半球を 2 個使用し、その相對向する先端部に尖端角約  $94^\circ$ 、高さ約 14 mm の小圓錐體を突出せしめたもので第 2 圖にこれを示す。試験に際しては斯の如き電極を第 3 圖の如く臺母子上に載せた。これはベンドマン避雷器現用のまゝの状態である。試験はすべて屋外に於て衝擊電壓發生器の高壓側に於て行ふた。



第 3 圖 供試間隙注水試験狀態

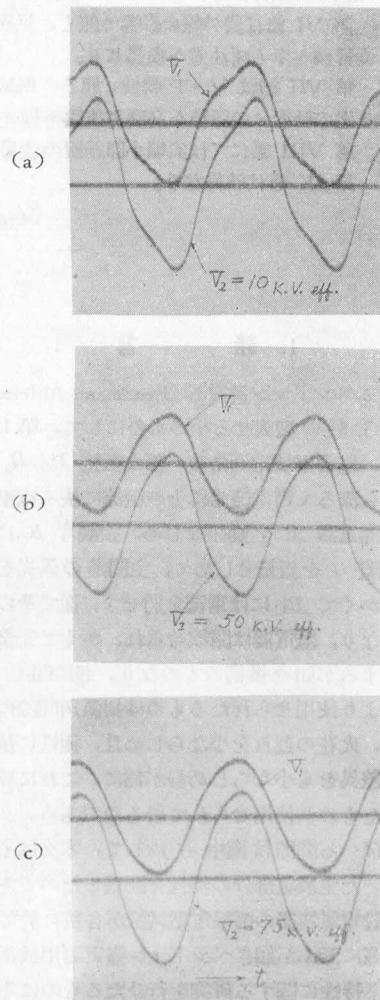
## III. 商用周波電壓試験

衝擊電壓印加試験を行ふ前に、これと比較對照の爲 60 サイクル商用周波電壓を印加し、間隙距離と閃絡電壓との關係を求めた。

### 1. 印加電壓の電源

印加電壓を發生すべき電源としては、本學中央實驗

所備付カスケード 900 kV 發生器の第一段變壓器を使用した。第 4 圖  $V_2$  は此の場合の發生二次側電壓波形であり、 $V_1$  は一次側波形である。3,300 V 電源と本

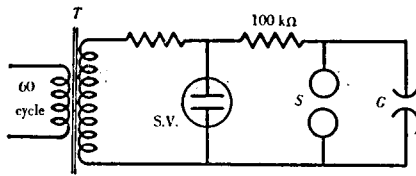


第 4 圖 試驗電壓波形

變壓器との間に誘導電圧調整器を挿入して電圧を調整した。波形に至る存在するのはこの誘導電圧調整器の影響である。二次側電圧が 75 kV 以上は実用上正弦波なることを認めた。

## 2. 接 続

第5圖に示す如く、電圧測定用静電電圧計 S.V. と球間隙  $S$  とを供試間隙  $G$  に並列に入れ、一端を接地して試験を行った。



第 5 圖 商用周波電圧試験接続

## 3. 印加電圧の更正

静電電圧計 S.V. の読みは實効値を示すのであるから、豫め印加電圧波高値と静電電圧計指示との關係を求め置き、静電電圧計の指示より出力印加電圧波高値を知ることとした。この場合の出力印加電圧波高値の測定には、水平配置徑 125 mm の球間隙を用ゐ、その試験間隙距離を擴げ、球間隙にのみ閃絡する如く

なして球間隙距離と静電電圧計の読みとの關係を求めた。球間隙の校正は A.I.E.E. の案 (Dec. 1937年) に依つた。得たる校正曲線を第6圖に示す。

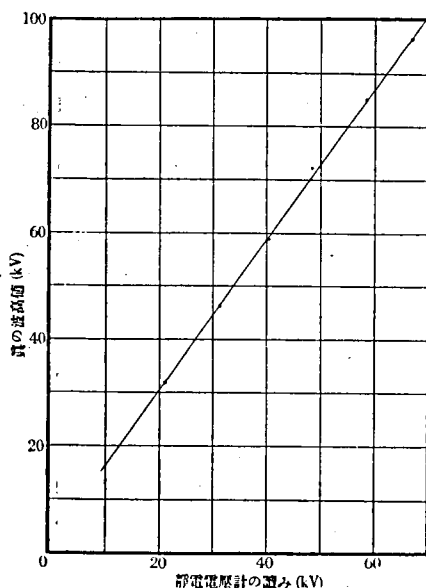
## 4. 乾燥火花閃絡電壓

上述の校正をなしたる後、球間隙を閃絡の起らざる間隙距離に擴げ、供試ベンドマン避雷器用間隙に電圧印加を行ひ、乾燥時に於ける火花閃絡波高電壓と間隙距離との關係を求めた。結果を第1表に表す。

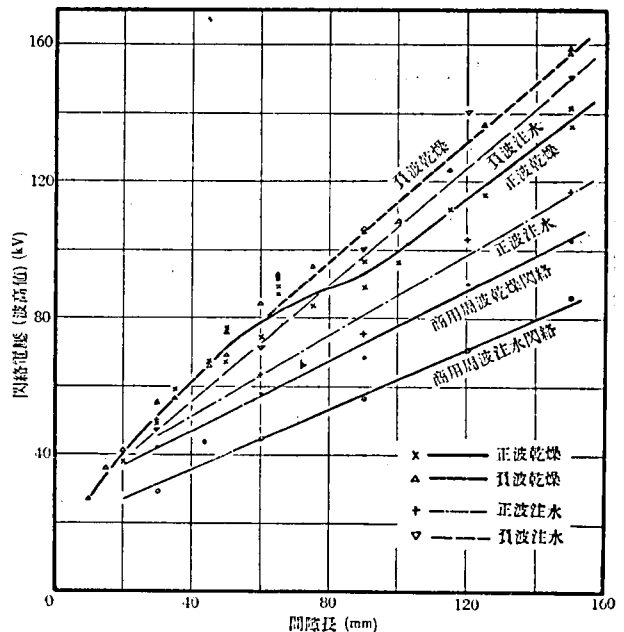
間隙長 (mm)	火花閃絡 波 高 値 (kV)	空 氣 相 對 密 度	氣 體 絶 對 濕 度 (gr/m <sup>3</sup> )	溫度更正 係 數 (%)	更正せる 火花閃絡 波 高 値 (kV)	實効値 (kV)
150	99.5	1.013	8.6	+3.5	103	73
120	88.0	1.013	8.6	+3.5	89.9	63.5
90	67.0	1.013	8.6	+3.5	68.5	48.5
60	55.5	1.013	8.6	+3.5	57.7	41
30	41.5	1.013	8.6	+3.5	42.4	30

第 1 表 商用周波乾燥火花閃絡電壓

茲に濕度に對する更正に關しては未だ本間隙の濕度特性が明かにせられて居ないため、これを嚴密に行ふ事が出来ないが、棒間隙の場合と同様に、氣温 25°C、氣壓 760 mmHg、絶對濕度 11 gr/m<sup>3</sup> を標準に取り、且大體の見當を付ける意味から、假に棒間隙の濕度特性と



第 6 圖 發生電壓波高値校正曲線



第 7 圖 火花閃絡特性

本間隙の湿度特性とが同一なるものとし、Allibone 氏の<sup>(2)</sup>更正曲線をその儘使用した。勿論棒間隙と本実験供試物間隙との湿度特性が相違する事は想像せらるゝも、兩者の構造上より大體相似たるものとの假定の下に行へり。

又第7圖中に後述の特性と比較して乾燥時火花閃絡波高値と間隙距離との關係を示す。

#### 5. 注水火花閃絡電壓

注水状態に於ける火花閃絡波高電壓と間隙距離との關係を、乾燥時特性を求めたる場合と同様の方法を以て求めた。結果を第2表並に第7圖に示す。

間隙長 (mm)	火花閃絡 波 高 値 (kV)	空 氣 相對密度	更 正 せ る 火花閃絡波高値 (kV)	實效値 (kV)
150	87.5	1.016	86.0	61
120	71.5	1.016	70.4	50
90	57.0	1.016	56.1	40
60	45.0	1.016	44.3	31.5
30	29.0	1.016	29.0	20

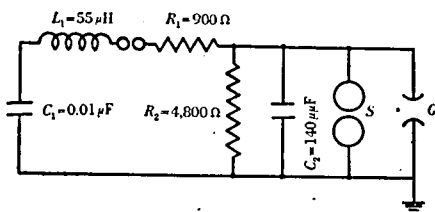
第 2 表 商用周波注水火花閃絡電壓

注水量は約 3mm/min. にて注水固有抵抗は約 12,500  $\Omega/\text{cm}^2$  (20°C), 注水方向 45° であつた。第2表の更正値は気温 25°C, 氣壓 760 mmHg の標準状態に換算せるものなり。

### IV. 印加衝擊電壓

#### 1. 衝擊電壓發生器並に接続

供試間隙に電壓を印加すべき衝擊電壓發生器としては、京都帝國大學工學部中央實驗所屋外設置 1,000,000 V 衝擊電壓發生器<sup>(1)</sup>を使用した。これが特性は既報の通りである。使用時の回路常數測定結果を接続圖と共に示せば第8圖の如し。



第 8 圖 衝擊電壓試驗接続

#### 2. 波 形

衝擊電壓標準調査委員會の案に依れば、衝擊試験波

形は  $1.5 \times 40 \mu\text{s}$  を標準に採つてゐるが、茲では回路の都合上  $1 \times 40 \mu\text{s}$  の波形を用ゐた。勿論此波形にて上記標準波の規定範囲内に納つて居る。

此波形の測定は抵抗分壓器を使用して陰極線オシログラフに據つた。

#### 3. 波 高 値

衝擊波の波高値の測定はすべて徑 125 mm の球間隙 S に據つた。放電率は 50% に採り、電壓較正は商用周波電壓の場合と同様、A.I.E.E. 案 (Dec. 1937年) に據つた。

### V. 最小衝擊火花閃絡電壓特性

#### 1. 實驗の方法

供試バンドマン避雷器用放電間隙に衝擊波の印加を行ひ、放電率 50% の最小火花閃絡電壓を求めた。

先づ供試間隙を試験すべき間隙距離に保ち、球間隙を供試間隙の閃絡電壓より少しく高い閃絡電壓に相當するだけの距離に保たしめ、供試間隙のみを放電せしむべくなし、波形が標準波なりや否やを供試間隙の閃絡電壓より少しく低き衝擊發生電壓値を以て確めた。これには陰極線オシログラフ<sup>(3)</sup>を使用し、發生電壓波形を撮影して行つた。

次に供試間隙を閃絡せしむるに足るが如き衝擊電壓を印加し、その場合の第一段蓄電器の充電電壓を室内に置きたる靜電電壓計にて讀む。一定間隙距離を以て 10 回づゝ電壓印加を行ひ、その放電閃絡回數を求め、之を種々の充電電壓を以て行ひ、その放電閃絡回數を求め、これを種々の充電電壓を以て行ひ、充電電壓と放電率の關係曲線を求め、これより供試間隙の 50% 放電率に相當する蓄電器充電電壓を求めた。

次に發生波形に影響せざる程度に供試間隙を少しく擴げ球間隙を近づけ、上に求めたる 50% 放電率に相當する一定の蓄電器充電電壓を絶えず印加しつゝ球間隙の放電率と球間隙長との關係曲線を求む。これより 50% 放電率に相當する球間隙長を求む。この球間隙長に相當する放電電壓を前述 A.I.E.E. 球間隙較正曲線より知り、之に溫度、氣壓の補正を行ふ。これ即ち供試間隙の放電電壓なるを以て、更に標準状態即ち溫度 25°C, 氣壓 760 mmHg の場合に更正し、更に湿度更正をも行つた。茲に湿度に對する更正は既に第 III 節に述べたる如く、これを嚴密に行ふ事が出来ないが、假に棒間隙の湿度特性と供試間隙の湿度特性が同一なるものとし、Allibone 氏の更正曲線をその儘使用し、絶対湿度 11 gr/m<sup>3</sup> を標準に取つた。

## 2. 實 驗 結 果

(a) 乾燥時に於ける試験

實驗結果は極性正なる場合を第3表に、負なる場合を第4表に要約して示せり。

供試間隙 距 (mm)	空氣相對 密 度	絕對濕度 (gr/m <sup>3</sup> )	50%放電率 に相當する 充 電 電 壓 (kV)	左欄電壓に相當 する50%放電率 の下の球間隙長 (mm)	表より見た る左欄相當 の放電電壓 (kV)	左欄實驗當 時の空氣 相對密度	放電電壓 (kV)	標準狀態に 更正せる 放電電壓 (kV)	實驗番號
10	1.033	7.6	3.4	8	26	1.034	26.6	27	B-1
15	1.045	5.6	4.9	11	34	1.041	35.4	36	B-2
20	1.053	5.3	5.25	11.5	35.5	1.053	37.4	37.9	B-3
30	1.006	7.6	6.2	16	48	1.006	48.1	48.6	B-4
35	1.058	5.7	8.0	20	57.5	1.043	60.0	59.4	B-5
45	1.021	8.3	8.1	22.5	66	1.021	67.4	67.4	B-6
50	1.039	8.1	8.2	23	65	1.032	67	67.1	B-7
50	1.046	5.7	9.3	26.5	72.5	1.045	75.8	77	B-8
60	1.004	7.7	8.8	25.5	72.3	1.003	72.3	74.8	B-9
65	1.017	6.1	10.5	32.5	84	1.025	86	89.4	B-10
65	1.031	5.4	9.9	29.5	82.5	1.028	84.8	87.6	B-11
75	1.027	7.8	9.8	28	81	1.026	83	83.8	B-12
90	1.026	6.8	11.3	35	95	1.002	95.2	96.7	B-13
90	1.026	6.8	10.2	31	86	1.011	87	89	B-14
100	1.033	8	11.35	34.5	94	1.021	95.9	95.9	B-15
115	1.013	7.2	12.6	39.5	107	1.013	108.3	111.6	B-16
125	1.0025	5.6	12.5	40.5	109	1.005	109.5	116.1	B-17
150	0.999	5.6	14.8	49	129	0.999	129	137.1	B-18
150	1.036	8.5	16.3	53	138	1.034	142.7	141.7	B-19

第 3 表 衝擊最小火花閃絡電壓 (極性: 正, 乾燥)

供試間隙 距 (mm)	空氣相對 密 度	絕對濕度 (gr/m <sup>3</sup> )	50%放電率 に相當する 充 電 電 壓 (kV)	左欄電壓に相當 する50%放電率 の下の球間隙長 (mm)	表より見た る左欄相當 の放電電壓 (kV)	左欄實驗當 時の空氣 相對密度	放電電壓 (kV)	標準狀態に 更正せる 放電電壓 (kV)	實驗番號
10	1.020	7.8	3.45	8	26	1.033	26.6	27	B-20
15	1.034	5.5	4.95	11	34	1.030	35.0	35.5	B-21
20	1.053	5.3	5.65	13.5	40	1.051	42.0	41.9	B-22
30	1.007	7.2	6.9	18	53	1.009	53.5	54.9	B-23
35	1.058	5.7	8.6	23	63	1.043	65.7	65.2	B-24
45	1.028	8.4	8.8	23	64.5	1.024	66	66.1	B-25
50	1.027	9.9	8.7	25	68.5	1.027	70.2	69.1	B-26
50	1.048	5.9	9.7	27	73	1.046	76.3	76.2	B-27
60	1.001	6.4	10.2	29	81	1.004	81.3	84.6	B-28
65	1.015	6.0	11.7	36.5	89	1.011	90	92.9	B-29
65	1.036	4.9	11.4	32	88.5	1.034	91.5	93.2	B-30
75	1.029	7.9	11.2	34	93	1.024	95.3	95.1	B-31
90	1.023	7.0	12.7	39	104	1.006	104.6	105.8	B-32
90	1.007	7.3	12.7	38	102	1.005	102.5	105.1	B-33
100	1.030	8	12.9	40.5	107	1.020	109	108.1	B-34
115	1.009	7.4	14.7	46.5	120	1.003	120.4	123	B-35
125	1.007	5.2	15.5	51.5	130	1.016	132	137.8	B-36
150	1.016	6.6	17.9	68.5	155.5	0.999	155.5	159.0	B-37
150	1.035	8.6	18.6	68	155	1.034	160.3	158.1	B-38

第 4 表 衝擊最小火花閃絡電壓 (極性: 負, 乾燥)



## (b) 注水時に於ける試験

極性正なる場合を第5表に、負なる時を第6表に要約して示せり。

供試間隙 距 (mm)	空気相対 密度	50%放電 率に相当 する充電 電 (kV)	放電電壓 (kV)	標準状態 に更正せ る放電電 壓 (kV)	實驗 番 號
30	1.012	6.5	50.5	49.8	B-39
60	0.996	8.2	67.0	67.3	B-40
90	0.995	9.1	75.5	75.4	B-41
120	0.998	12.0	103.0	103.2	B-42
150	1.000	13.5	117.5	117.5	B-43

第 5 表 衝撃最小火花閃絡電壓  
(極性: 正, 注水)

供試間隙 距 (mm)	空気相対 密度	50%放電 率に相当 する充電 電 (kV)	放電電壓 (kV)	標準状態 に更正せ る放電電 壓 (kV)	實驗 番 號
30	1.010	6.25	48	47.5	B-44
60	1.006	9.2	71.5	71.1	B-45
90	0.995	12.2	100.0	100.4	B-46
120	0.997	16.5	139.5	140.0	B-47
150	1.003	17.5	151.2	150.9	B-48

第 6 表 衝撃最小火花閃絡電壓  
(極性: 負, 注水)

以上の實驗結果より、間隙距離と標準状態に更正せる放電電壓との関係を圖示せば第7圖の如くなる。

## 3. 結果に對する論議

上記實驗結果を見るに、次の事實を知る。

- (a) 正波閃絡電壓値は負波閃絡電壓値より小なり。
- (b) 注水閃絡電壓値は乾燥閃絡電壓値より小なり。
- (c) 衝撃閃絡値は注水時と雖も商用周波乾燥閃絡

電壓値より大なり。

- (d) 注水に依る閃絡電壓値の低下は、正波に於て甚だしい。

## VI. 紫 外 線 の 影 響

上記實驗の途中閃絡電壓が著しく紫外線に影響せらるゝ事を認めたるを以て、その程度を確かめるため供試間隙より 40 cm の位置に水銀燈を置き、約 160 W の消費電力を以てこれを點火して間隙を照射し、その影響を驗べた。實驗は間隙距離 95 mm の場合について最小火花閃絡電壓を第 V 節に述べたと全く同様の方法を以て測定した。その結果を示せば第7表の如し。

これを見るに正負何れの衝撃波に對しても、相當紫外線の影響顯著なるを認められるが、特に正波の場合には 17% も放電電壓の低下あるを知る。

本實驗に於ける紫外線照射量は過大なりと言ひ得ざるに關らずかく閃絡電壓値の低下を見るは注意すべき現象である。

## VII. V-T 特 性

ベンドマン避雷器の V-T 特性、即ち印加電壓波高値と電壓印加後破壊に到る迄の時間との関係を測定した。

## 1. 測 定 方 法

電極距離はこれを常に 9 cm に保ち、これに印加すべき衝撃波は第 IV 節に述べたる標準波を以てし、その波高値を變じ、注水、乾燥、正波、負波夫々の組合せの場合に於ける放電電壓波形を陰極線オシログラフ<sup>(3)</sup>を以て撮影し、これより破壊に到る時間を求め火花閃絡の遅れを測定せり。

同一波高の電壓を印加するも破壊を起す場合と然らざる場合とあり、従て整一なる V-T 曲線を求めることは困難なり。故に筆者は同一波高の電壓値で少く

衝撃波 極 性	紫 外 線	空気相対 密 度	絶對湿度 (gr/m <sup>3</sup> )	50%放電率に相 當する充電電壓 (kV)	最小火花閃絡 電 壓 (kV)	標準状態に更正 する放電電壓 (kV)	實驗番號	照射せる場合 と然らざる場 合との比
正	非照射	1.019	9.1	11.4	97.5	97.9	B-49	} 83%
正	照射	1.019	9.1	9.7	81.0	81.3	B-50	
負	非照射	1.022	9.3	12.9	107.0	106.3	B-51	} 92.5%
負	照射	1.022	9.3	12.1	99.0	98.3	B-52	

第 7 表 紫外線照射の影響 (間隙距離 95 mm)

も 5~6 回の放電を行はしめ、その場合のオシログラムを撮影し、かくすることを最小閃絡電壓値より次第に電壓を上昇して、各電壓の場合に就て行ひたり。かくて合計 131 枚のオシログラムを得、これより V-T 曲線を作れり。

電壓値は静電電圧計と球間隙とにより、供試間隙端子電壓と読みとの関係を前以て更正し置き、静電電圧計の読みよりこれを求めた。又各電壓値共空気相對密度に對する更正は行ひたるも、湿度に對する更正は行はなかつた。

次に注水状態は第 III 節に述べたると同様に約 3 mm/min の注水量を以てした。

## 2. 實 驗 結 果

### (a) 乾 燥 狀 態

#### i. 正波の場合第 9 圖

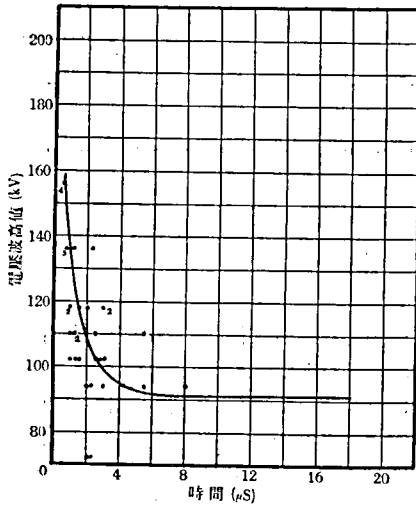
#### ii. 負波の場合第 10 圖

### (b) 注 水 狀 態

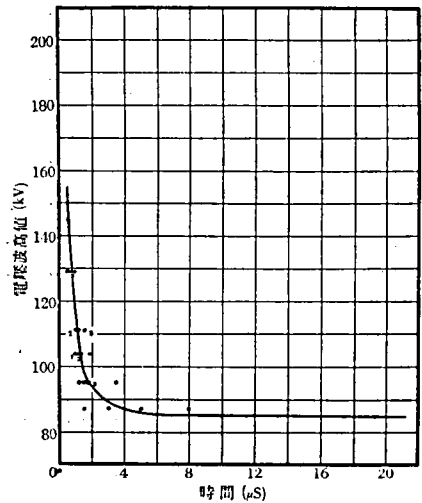
#### i. 正波の場合第 11 圖

#### ii. 負波の場合第 12 圖

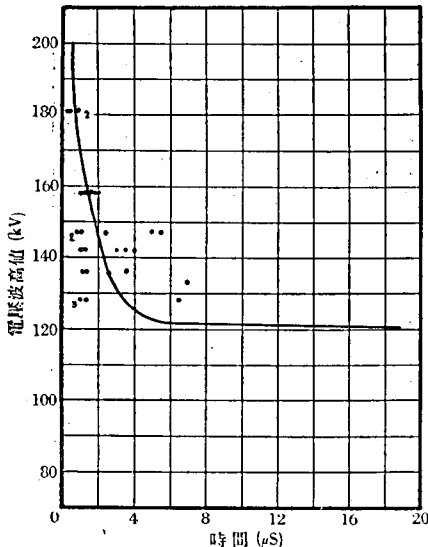
にこれを示す。



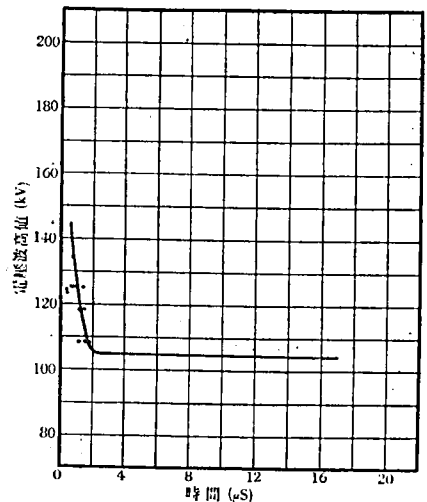
第 9 圖 正波乾燥 V-T 特性



第 11 圖 正波注水 V-T 特性



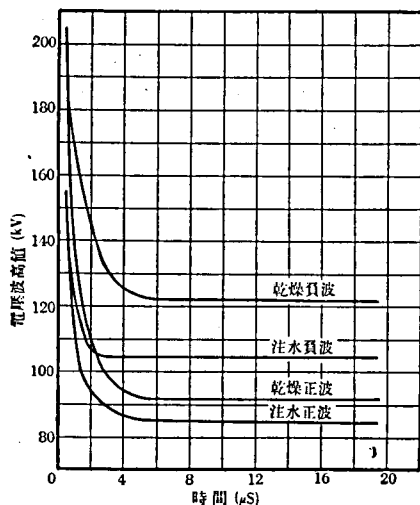
第 10 圖 負波乾燥 V-T 特性



第 12 圖 負波注水 V-T 特性

## 3. 論 議

特性間の関係を明瞭にするため、これを一つの図表に畫けば第13圖の如くなる。これをみるに正波負波何れの場合にも、注水により著しく火花の遅れの小となることを知る。



第13圖 V-T 特性

## VIII. 尖端小圓錐體の効果

ベンドマン避雷器用尖端小圓錐體が如何なる論據によりて取付けられたるかを確かむるため、尖端小圓錐體の無いもので大體同一寸法を有する第14圖の如き間隙を作りその50%放電率に於ける最小衝撃火花放電電壓を測定してこれを小圓錐體を有するものと比較して小圓錐體の効果を論じた。

## 1. 實驗方法

尖端小圓錐體を有せざる電極の構造を第14圖に示す。これが間隙長は38mmに選んだ。これは小圓錐

體の存在する間隙に於ては實驗によるに大體105mmの間隙長の場合に同一の50%放電率の乾燥正波衝撃放電電壓を有す、これは各種特性の比較に便ならしめんとする意なり。

此電極に標準衝撃波を加へ、50%放電率に於ける乾燥、注水、正波、負波の各種の場合の最小火花閃絡電壓を求めた。その方法は第V節に述べたる處と同様なり。

## 2. 實驗結果

第8表に示す。この數値は何れも第V節に述べたると同様の方法により標準状態に更正せるものなり。

乾燥正波	乾燥負波	注水正波	注水負波
102	101	79	84

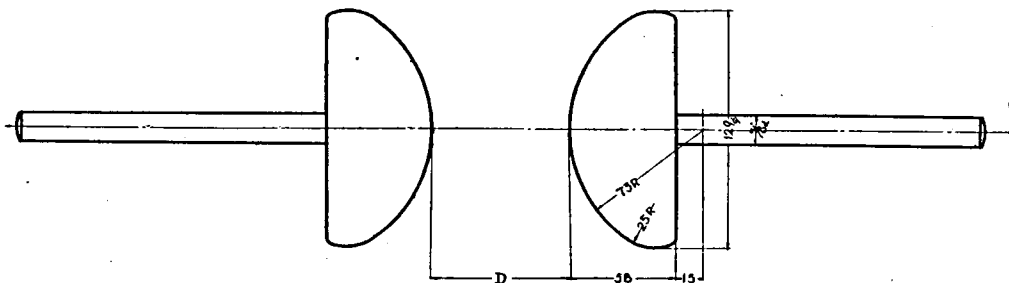
(單位 kV)

第8表 50%放電率最小火花閃絡電壓値  
(尖端小圓錐體なきもの)

## 3. 論 議

今これを尖端小圓錐體のある電極の放電特性と比較するに、第9表の如き結果を得た。

本表より明なる如く、尖端小圓錐體の存在するものは、せざるものに比し、正波、負波何れに於ても、乾燥時と注水時との閃絡電壓の差が少く、商用周波電壓にては更に甚だしい。これは或一定の間隙長に調整した本間隙の作用が、尖端小圓錐體の存在に依つてあらゆる状態下の雷害に對し一様に動作する事を教ふるものにして、60サイクル商用周波電壓に對し特にその差を小とし得る點を併せ考ふれば、本小圓錐體の存在は送電の確實性より極めて有效なるものと思惟せらる。尙尖端小圓錐體を附する時は同一放電電壓に對し、間隙距離大となるを以て、機械的の障害に對し、電氣的に安全を保ち得るのみならず、續流遮斷に便なり。



第14圖 尖端小圓錐體なき電極

尖端小圓錐體	乾 燥 正 波 (kV)	注 水 正 波 (kV)	注水正波電壓 乾燥正波電壓 $\times 100\%$	乾 燥 負 波 (kV)	注 水 負 波 (kV)
存在するもの	102	94	92	118	114
存在せざるもの	102	79	78	101	84

尖端小圓錐體	注水負波電壓 $\times 100\%$ 乾燥負波電壓	最小放電電壓 $\times 100\%$ 最大放電電壓	60サイクル 乾燥電壓 (kV) (eff)	60サイクル 注水電壓 (kV) (eff)	60サイクル注水電壓 $\times 100\%$ 60サイクル乾燥電壓
存在するもの	97	80	58	45	78
存在せざるもの	83	77	66	30	46

第 9 表 50%放電率火花閃絡電壓比較表

次に火花の遅れに就て見るに、尖端小圓錐體無きものは乾燥、注水何れの場合に於ても實驗上全部波頭閃絡なることを認めたり。これを尖端小圓錐體を有する間隙の特性と比較するに注水時に於ては兩者同じく火花の遅れ少きも、乾燥時には尖端小圓錐體を有するものは火花の遅れ顯著なるを知る。

## IX. 結 言

以上を要約せば、ベンドマン避雷器用火花放電間隙に就て、

1. 商用周波電壓特性を求め、これを衝撃電壓特性と比較検討した。
2. 最小火花閃絡電壓に関しては、正波閃絡電壓値は負波閃絡電壓値より小なること、注水閃絡電壓値は乾燥閃絡電壓値より小なること、又衝撃閃絡値は注水時と雖も商用周波乾燥閃絡電壓値よりも大なることを知った。
3. 放電特性は紫外線の影響大なり。
4. V-T 特性を明かにした。注水の場合には正波負波何れも火花の遅れ小なることを認めた。
5. 尖端小圓錐體の効果
  - (a) 尖端小圓錐體を附すれば、同じ放電電壓に對

し間隙距離大となるを以て、機械的障害に對し電氣的に安全となし得るのみならず、續流の遮斷に便なり。

(b) 尖端小圓錐體を附すれば、火花の遅れを生ず。附せざれば遅れなし。

(c) 尖端小圓錐體を附すれば、注水時と乾燥時に於ける放電電壓の差が少くなる。これは特に商用周波電壓印加の場合に著しい。此事は或一定の間隙長に制定したベンドマン避雷器の作用が、小圓錐體を有するがために、各種の氣象狀態下の雷害に對し比較的同一條件で動作することを示し、その存在が極めて有效なることを教ふるものなり。

(d) 單に火花の遅れを少くするだけの目的ならば、尖端小圓錐體は不用なり。

## 参 考 文 献

- (1) 上西：電評 27 407 (昭14)
- (2) Allibone: J.I.E.E. Dec. (1937)
- (3) 上西、竹村：電評 27 255 (昭14)

(114)

114

# 碍子の衝撃電圧特性\*

## 内 容 梗 概

本文は主としてピン碍子の衝撃電圧閃絡に關して實驗したる結果と、これを基礎として定性的にピン碍子の衝撃電圧特性を論じ、又懸垂碍子に就きて行へる實驗結果をも附加せるものである。

第 I 節は緒言にして、既往の研究には負波衝擊特性及び注水状態試験に關する報告少き事を指摘して、筆者の研究の方向を明らかにし、

第 II 節に於て供試碍子の構造、種類、配置に就いて述べ、

第 III 節に於て印加衝擊電圧の状態、並びに實驗方法を述べた。次に衝擊電圧特性と比較對照する目的から、

第 IV 節に於て商用周波電圧試験を、乾燥、注水兩状態の下に行つた結果を述べた。

第 V 節は最小火花閃絡電圧値に關して、供試碍子に對し、乾燥、注水の兩者の場合に就いて實驗せる結果、並びに球間隙、針端對平板電極配置、ヘンドマン避雷器用間隙、及び懸垂碍子に就いて、比較對照の意味に於て試験せる結果を示し、これらの間の關係特性を論議した。

第 VI 節に於ては、V-T 曲線を求めてその特異性を比較検討し、

第 VII 節に於て火花閃絡の状態を観察した結果を示し、懸垂碍子の場合とも比較した。

第 VIII 節は結言にして全文を要約せり。

## I. 緒 言

送電線、配電線に於ける碍子閃絡の故障原因は種々あらうが、最も頻繁にして且つ不可避のものは、雷放電に依る衝擊異常電壓發生に基づくものと考へられる。かゝる異常電壓に對して碍子がどう言ふ特性を示すものであるかは、送配電技術の上の緊急の問題であるが、未だ釋明せられて居らぬ點が甚だ多いやうである。

更に送配電線に於ける碍子が閃絡の危險に曝される機會は、それが乾燥状態にある場合よりも、注水の状態にある場合の方が餘程多いと見なければならぬ。従つて碍子の閃絡電壓も、その乾燥状態に於ける値よりは注水状態に於ける値の方がより一層重大性を有つ譯である。

さて衝擊電壓特性研究の對照として碍子がとりあげられたのは比較的新しい事實であるが、既に今日では碍子の衝擊電壓試験に關する規定も作られんとする状態<sup>(1)</sup>にあり、従つてこれが資料としての研究實績は可成豊富である。併しながら上述の注水状態に關する調査

を行つた例は極めて少い。又一般に碍子の負面撃波特性は結果がまちまちとなり易いため負波に對する試験結果も亦僅少である。

筆者は主としてピン碍子に關して、正波負波の各に就いて、又特に注水状態の場合に就きその衝擊電壓特性を調査研究して來た。我が國に於て最近變壓器の衝擊電壓試験規程制定に一段落を告げ、漸く碍子その他の衝擊電壓特性調査が開始せられんとする時に當り、本報告が何等か寄與する處あらば幸である。

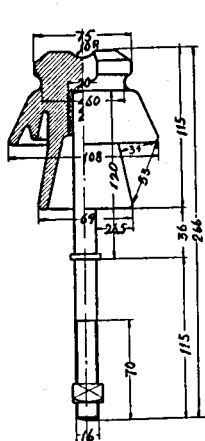
## II. 供試碍子の構造並びに配置

實驗に供した碍子は、松風工業株式會社製ピン碍子 12 種類であつて、一般ピン碍子中の代表的のものすべてを網羅した。それらの規格及び構造を第 1 表及び第 1 圖 a, b に示す。第 1 表中、磁器部漏洩距離とは完全に碍子の表面に沿うての電極間最短距離を言ひ、即ち第 2 圖 I を指し、乾燥閃絡距離並びに注水閃絡距離とは第 2 圖に於てそれぞれ次式  $M$ ,  $N$  を指す。

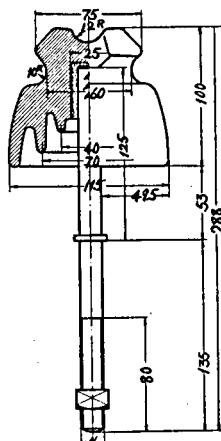
\* Impulse Voltage Characteristics of Insulators. By R. UENISI (Kyoto Imperial University).

品 名	公稱電壓 (kV)	使用電壓 (kV)	ピン直徑 (mm)	ベース (mm×mm)	磁器 層数	磁器部 漏洩距離 (mm)	乾燥 閃絡距離 (mm)	注 水 閃絡距離 (mm)	J.E.C. 規格	用 途
B-1	—	3.5	16	—	1	215	129.5	60.5	—	高 壓 配 電
B-160	—	3.5	16	—	1	206	125.5	49.5	J.E.S.-131 規格品	"
B-161	—	3.5	16	—	1	206	134	60	"	電鐵饋電線用
B-230	—	D.O. 1.5	19	128×60	1	389	126	48	—	高 壓 配 電
A-25	—	6.6~11.0	16	—	1	261	157	71	—	特 高 送 電
AC-51	10	15	16	85×50	2	249	145	73	J.E.C.-38 規格品	"
AC-54	20	25	16	125×65	2	349	197	98	"	"
AC-57	30	35	16	150×80	3	500	233	118	"	"
AC-59	40	45	19	200×90	3	695	297	152	"	"
AC-61	50	55	22	240×100	3	878	378	200	"	"
AC-63	60	66	22	270×125	4	1176	403	208	"	"
AC-64	—	70	22	270×125	4	1239	441	224	"	"

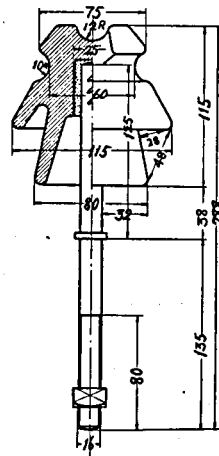
第 1 表 供試ピン碍子の種類と規格



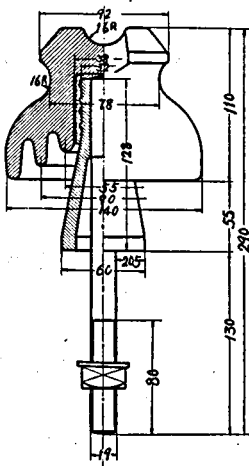
B-1



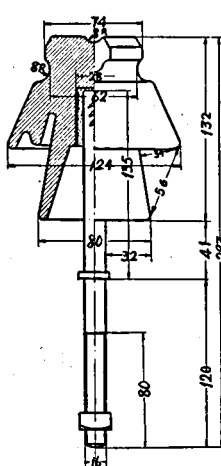
B-160



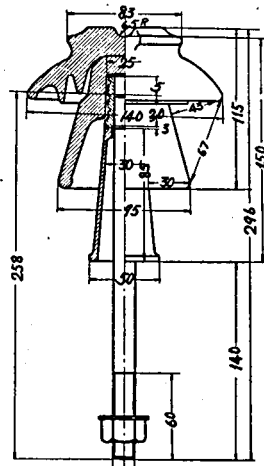
B-161



B-230

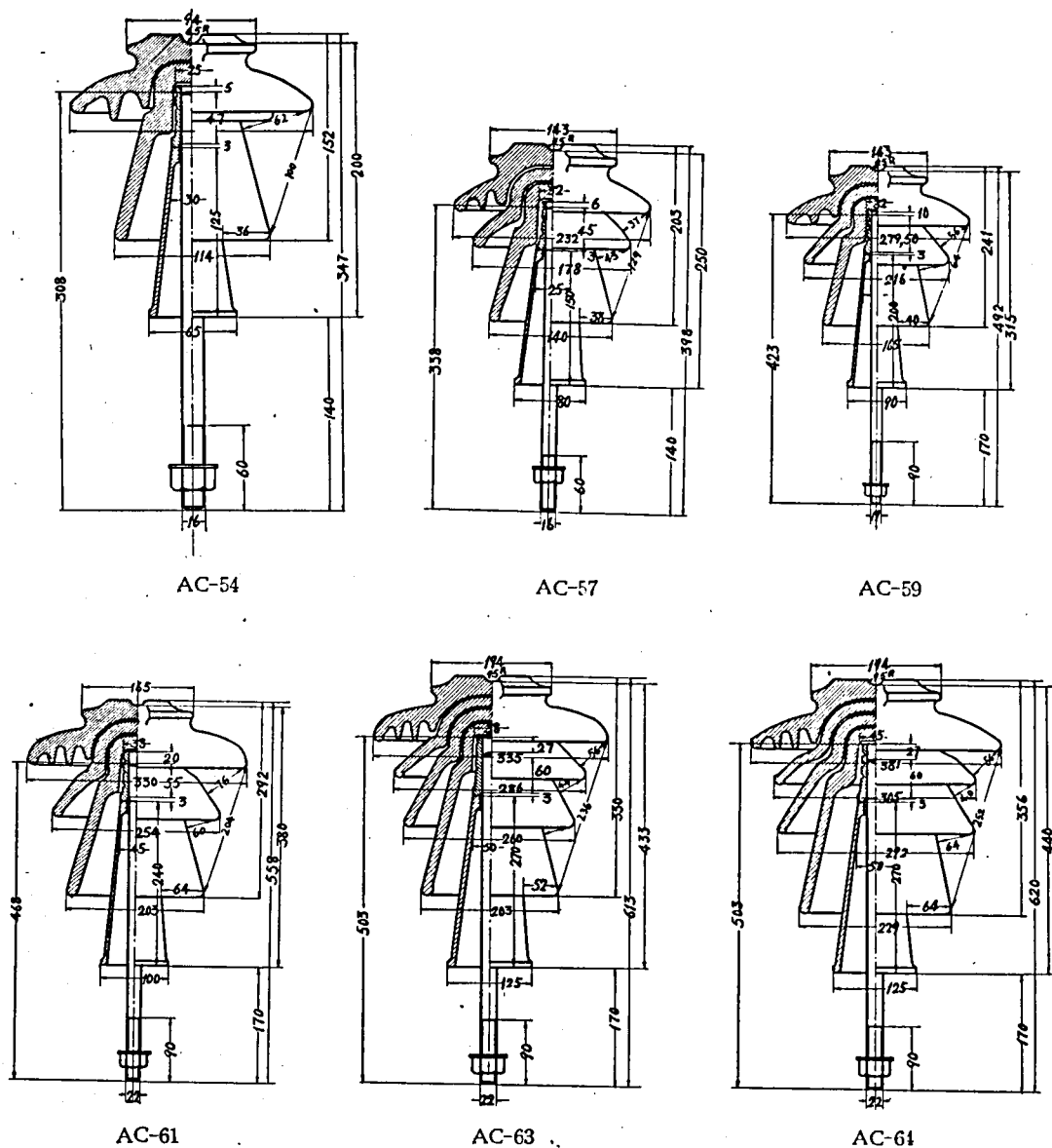


A-25



AC-51

第1圖 a 供試ピン碍子寸法(mm)



第1圖 b 供試ピン碍子寸法 (mm)

$$M = a + b + c$$

$$N = \sum C$$

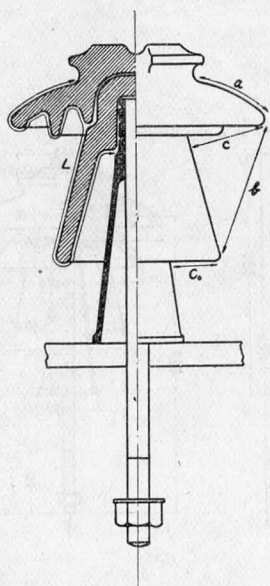
これら碍子中、B-1, B-160, B-161, B-230 及び A-25 はピンが磁器部に接着せられ居り、他の特高用碍子はピン並びにベースと磁器部とは分離し得るものである。ピンは全部腕木用ピンを使用した。

実験に際しては、斯くの如き碍子を第3圖に示す如き腕金支持臺に取付け、腕金を接地、導線電極として

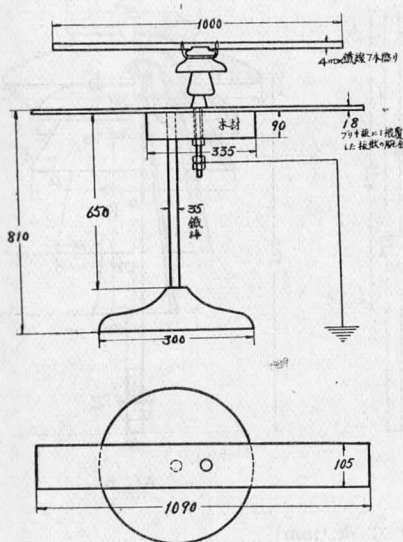
は、直径 4 mm の鉄線 7 本然の裸線長さ 1 m のものを用ひ、これを縛縛線にて碍子に結び、これに試験高電圧を印加す。第3圖に於ては便宜上高壓導線と腕金とは同一平面内に並行に在る如く示してあるが、実験に際しては互に直角方向に置いてこれら導線間の直接閃絡を避けた。第4圖は注水時配置を示す。

試験はすべて屋外にて衝擊電壓發生器の高壓側に於て行ふた。





第 2 圖 閃 絡 距 離

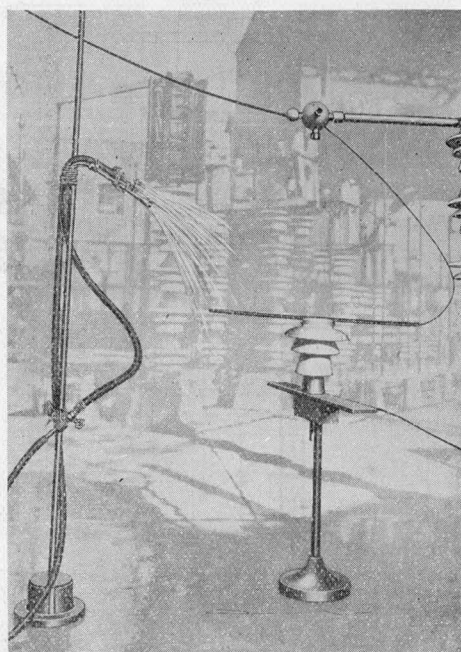


第 3 圖 碍子支持臺 (單位 mm)

### III. 印加衝擊電壓及び實驗方法

#### 1. 印加衝擊電壓

供試碍子に電壓を印加すべき衝擊電壓發生器としては、既述の衝擊電壓に對するベンドマン避雷器用火花間隙の放電特性に關する實驗と同様、京都帝國大學工學部中央實驗所屋外設置 1,000,000 V 衝擊電壓發生器



第 4 圖 供試碍子注水試驗狀態

を用いた。裝置の都合により波形は  $0.7 \times 40 \mu s$  となつた。これは陰極線オシログラフに依つて實驗の都度確めた。

#### 2. 閃絡電壓波高値の測定

閃絡電壓波高値の測定にはすべて徑 125 mm 又は 500 mm の球間隙に據つた。何れも放電率を 50% に採り、電壓更正は A.I.E.E. の案 (Dec. 1937 年) に據つた。

#### 3. 濕 度

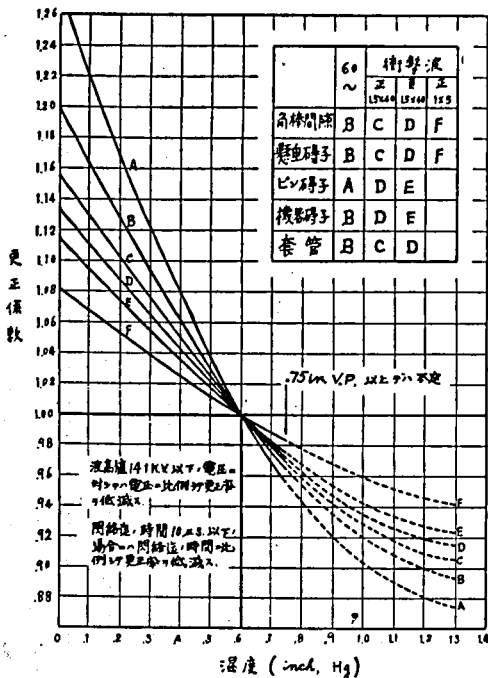
實驗の都度濕度を測定した。濕度計としてはアスマンの乾濕球濕度計を用ひ、3 m/sec の通風狀態にてその各溫度計の指示溫度を讀み相對濕度並びに絕對濕度を算出した。

#### 4. 注水試驗

各碍子に關し乾燥火花閃絡試驗と共に注水火花閃絡試驗をも行つた。注水量は約 3 mm/min にて注水固有抵抗は約  $12,500 \Omega / \text{cm}^3$  ( $20^\circ \text{C}$ )、注水方向は垂直面に對し  $45^\circ$  に採つた。

#### 5. 測定閃絡電壓値の大氣標準狀態への更正

各實驗結果を比較對照する目的から、測定閃絡電壓値はすべて大氣標準狀態に換算した。大氣標準狀態としては氣壓 760 mm Hg、溫度  $25^\circ \text{C}$ 、濕度  $11 \text{ gr/m}^3$  を採つた。閃絡電壓が氣壓 ( $b$  mm Hg) 並びに溫度 ( $t^\circ \text{C}$ )



第 5 圖 湿度修正曲線 (0.6085 inch Hg)

により變化することに對しては周知の次式  $\delta$  による空氣相對密度に比例するものとして更正した。

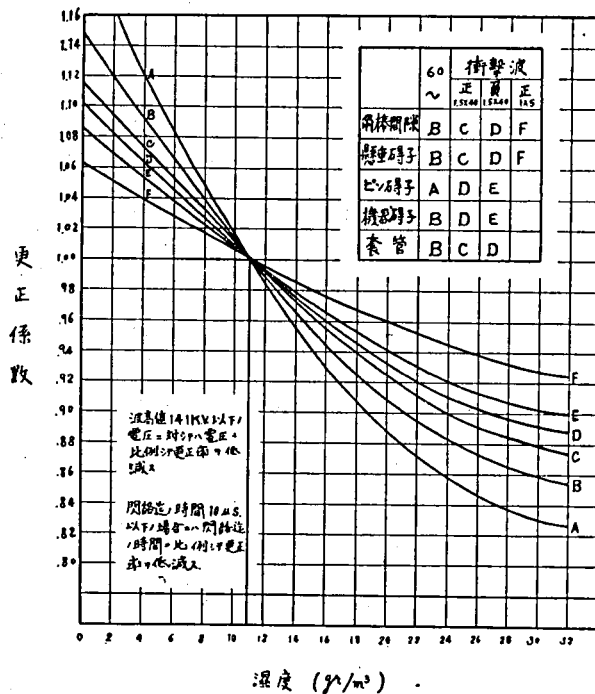
$$\delta = \frac{0.392 b}{273 + t}$$

次に湿度に對する測定閃絡電壓値の更正に對しては、未だ供試端子の如きものに就いてその湿度特性が明らかにせられてゐないため満足に行ふことが出來ぬ。たゞ第5圖に示す E.E.I.-N.E.M.A. 聯合絶縁協調委員會發表の湿度修正曲線はこれに關する唯一の資料と考へられるが、該曲線は湿度が 0.6085 inch Hg 即ち 15.45 mm Hg (25°C) 即ち 14.7 gr/m<sup>3</sup> を標準としたものであるため直ちに茲にこれを引用することが出來ない。依つてこの E.E.I.-N.E.M.A. 聯合絶縁協調委員會發表の曲線を、茲に言ふ標準状態の湿度 11 gr/m<sup>3</sup> の場合に換算して用ふこととした。今換算の方法を述べん。先づ第5圖の横軸に表はされたる水蒸氣張力に依る湿度を絶対湿度に換算する。これに對しては、

$f$ : 絶対湿度 (gr/m<sup>3</sup>)

$p$ : 水蒸氣張力 (mm Hg)

$t$ : 温度 (°C)

第 6 圖 湿度修正曲線 (11 gr/m<sup>3</sup>)

修正係數 絕對濕度 inch Hg gr/m <sup>3</sup> p			各 濕 度 値 に 對 す る 更 正 係 數													
			0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
			0	2.451	4.902	7.353	9.804	12.255	14.706	17.157	19.608	22.059	24.510	26.961	29.412	31.863
A	1.058	$\alpha$	—	1.22	1.167	1.123	1.078	1.038	1.000	0.970	0.943	0.922	0.904	0.891	0.881	0.875
		$\beta$	—	1.153	1.103	1.031	1.019	0.981	0.945	0.917	0.891	0.871	0.854	0.842	0.833	0.827
B	1.045	$\alpha$	1.20	1.162	1.128	1.094	1.061	1.029	1.000	0.975	0.953	0.936	0.920	0.909	0.900	0.892
		$\beta$	1.148	1.112	1.079	1.047	1.015	0.985	0.957	0.933	0.911	0.896	0.880	0.870	0.861	0.854
C	1.036	$\alpha$	1.155	1.128	1.102	1.075	1.050	1.025	1.000	0.980	0.959	0.941	0.929	0.919	0.910	0.906
		$\beta$	1.115	1.089	1.064	1.038	1.014	0.989	0.965	0.946	0.926	0.908	0.897	0.887	0.879	0.874
D	1.030	$\alpha$	1.134	1.110	1.087	1.064	1.041	1.022	1.000	0.980	0.963	0.948	0.935	0.927	0.920	0.915
		$\beta$	1.101	1.078	1.055	1.033	1.011	0.992	0.971	0.951	0.935	0.920	0.908	0.900	0.893	0.888
E	1.027	$\alpha$	1.115	1.094	1.074	1.055	1.035	1.016	1.000	0.982	0.969	0.954	0.942	0.935	0.928	0.923
		$\beta$	1.086	1.065	1.046	1.027	1.008	0.989	0.975	0.956	0.943	0.929	0.917	0.910	0.903	0.899
F	1.018	$\alpha$	1.082	1.067	1.053	1.039	1.026	1.012	1.000	0.988	0.978	0.969	0.960	0.952	0.946	0.942
		$\beta$	1.063	1.048	1.034	1.021	1.008	0.994	0.982	0.970	0.961	0.952	0.943	0.935	0.929	0.925

第 2 表 湿度 11 gr/m<sup>3</sup> の標準状態に對する修正係數換算表

とせば、

$$p = 0.945 (1 + 0.00367 t) \times f$$

に従ひて、 $t = 25^{\circ}\text{C}$  に於ては

$$1 \text{ gr/m}^3 = 1.035 \text{ mm Hg} = 0.0408 \text{ inch Hg}$$

となり第2表絶対湿度の欄の数字を得る。次に湿度  $a$  なる状態に於ける閃絡電壓値を  $Z$  とするとき、第5圖の標準に従ふときは、更正値は湿度  $a$  に相當する

更正係数  $\alpha$  を第5圖より求め  $\alpha Z$  を以て第5圖の標準状態に於ける値とする。而して一方  $11 \text{ gr/m}^3$  の標準に従ふときは、この時の同じく湿度  $a$  に相當する更正係数を  $\beta$  とせば、 $\beta Z$  が  $11 \text{ gr/m}^3$  の標準状態に於ける値となる。しかるに  $11 \text{ gr/m}^3$  の状態に於ける値を第5圖の標準状態に更正するには第5圖の  $11 \text{ gr/m}^3$  に相當する更正係数  $p$  を乗ずれば可なり。

供 試 母 子	實驗 番 號	注水 乾燥 の 區別	火花閃絡 波高値 (kV)	空氣相對 密度	絕對湿度 (gr/m <sup>3</sup> )	空氣相對密度に對して のみ更正せる波高値 (kV)	空氣相對密度並びに濕 度に對して更正せる 波高値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡電壓波高値の比* (%)
B-1	G 1	乾燥	83.5	0.997	19.8	83.6	74.4	} 70
	H 1	注水	51.3	0.987	—	51.9	—	
B-160	G 2	乾燥	83.8	0.998	19.6	84	74.8	} 73
	H 2	注水	53.7	0.986	—	54.5	—	
B-161	G 3	乾燥	92	0.995	19.7	92.5	82.4	} 73
	H 3	注水	59	0.984	—	60	—	
B-230	G 4	乾燥	85	0.995	19.8	85.5	76	} 96
	H 4	注水	72.6	0.987	—	73	—	
A-25	G 5	乾燥	95.5	0.995	19.7	96	86.5	} 73
	H 5	注水	62.1	0.985	—	63	—	
AC-51	G 6	乾燥	107.6	0.997	19.4	108	96.4	} 62
	H 6	注水	58.9	0.985	—	59.7	—	
AC-54	G 7	乾燥	133.4	0.99	11.6	134.7	133.2	} 60
	H 7	注水	78.9	0.983	—	80.2	—	
AC-57	G 8	乾燥	125.3	0.974	19.0	128.6	115.4	} 85
	H 8	注水	97	0.983	—	98.6	—	
AC-59	G 9	乾燥	196	0.98	11.0	200	200	} 56
	H 9	注水	109.7	0.982	—	111.7	—	
AC-61	G 10	乾燥	225.7	0.977	17.6	231	210.4	} 65
	H 10	注水	135.7	0.983	—	138	—	
AC-63	G 11	乾燥	257.4	0.975	17.6	264	240.5	} 60
	H 11	注水	141.8	0.982	—	144.5	—	
AC-64	G 12	乾燥	306.9	0.987	18.8	313.8	282.1	} 56
	H 12	注水	155.6	0.982	—	158.4	—	

\* ( 空氣相對密度に對してのみ更正せる注水閃絡電壓波高値  
空氣相對密度並びに濕度に對して更正せる乾燥閃絡電壓波高値 )

第3表 商用周波火花閃絡電壓

$$\therefore \gamma \beta p = \alpha Z$$

$$\therefore \beta = \frac{\alpha}{p}$$

$\alpha$  の値は  $ABCDE$  各曲線に就いて種々なる湿度値に對し第5圖より求め、又  $p$  を  $ABCDE$  各曲線に就いて第5圖の  $11 \text{ gr/m}^3$  即ち  $0.4488 \text{ inch Hg}$  の點に就いて求むれば第2表  $p$  欄の如くなり、これより所要

の  $\beta$  を知る。これらを一括して第2表に示し更に圖示して第6圖に示す。これ即ち筆者の標準状態に對する更正用曲線を與ふ。

#### IV. 商用周波電壓試験

衝撃電壓印加試験を行ふ前に、これと比較對照の爲60サイクル商用周波電壓を印加し、閃絡電壓を求めた。

供 試 碍 子	實驗 番號	注水 乾燥 の 區別	火花閃絡 波高値 (kV)	空氣相對 密度	絕對湿度 (gr/m <sup>3</sup> )	空氣相對密度に對して のみ更正せる波高値 (kV)	空氣相對密度並びに濕 度に對して更正せる 波高値 (kV)	乾燥時と注水時の 閃絡電壓波高値の比 <sup>*</sup> (%)
B-1	A 1	乾燥	81.8	0.936	13.8	83	81	} 102
	B 1	注水	81.9	0.937	—	83	—	
B-160	A 2	乾燥	80.67	0.972	17.8	83	78.5	} 109
	B 2	注水	94.1	0.984	—	85.5	—	
B-161	A 3	乾燥	94.16	0.986	14.4	95.5	92.9	} 103
	B 3	注水	94.2	0.986	—	95.5	—	
B 230	A 4	乾燥	96.2	0.984	18.3	97.8	92.3	} 100
	B 4	注水	91.3	0.986	—	92.6	—	
A-25	A 5	乾燥	98.7	0.972	16.3	101.5	97.2	} 108
	B 5	注水	103.6	0.987	—	105	—	
AC-51	A 6	乾燥	116.4	0.97	18.0	119	112.6	} 97
	B 6	注水	106.9	0.976	—	109.6	—	
AC-54	A 7	乾燥	140.2	0.995	17.8	141	134	} 109
	B 7	注水	141	0.966	—	145.9	—	
AC-57	A 8	乾燥	166	0.9375	15.7	168	162	} 103
	B 8	注水	173	1.0355	—	167	—	
AC-59	A 9	乾燥	192	1.021	9.6	188	191	} 98
	B 9	注水	193	1.029	—	186	—	
AC-61	A 10	乾燥	250	0.9735	14.7	267	249	} 100
	B 10	注水	241	0.962	—	251	—	
AC-63	A 11	乾燥	279	0.9825	18.0	284	269	} 101
	B 11	注水	265	0.97	—	272	—	
AC-64	A 12	乾燥	298	0.97	16.8	307	293	} 101
	B 12	注水	286	0.968	—	295	—	

\*  $\left( \frac{\text{空氣相對密度に對してのみ更正せる注水閃絡電壓波高値}}{\text{空氣相對密度並びに濕度に對して更正せる乾燥閃絡電壓波高値}} \right)$

第 4 表 衝撃最小火花閃絡電壓 (極性: 正)

印加電壓の電源、接續方法、印加電壓の更正はすべて、前に、ベンドマン避雷器用火花閃隙の放電特性試験<sup>(7)</sup>に於て行ひたると同様の方法を探つた。但し印加電壓の波高値の測定に關しては一つの閃絡電壓を求める毎に、靜電々壓計指示充電々壓に相當する眞の波高値を一々球閃隙を以て測定し前節に述べたる處に従ひ大氣相對密度並びに濕度に對する補正を行つた。結果を第

3表に示す。これを見るに何れも注水により著しく閃絡電壓の低下を見、甚だしきは44%も低下するものあるを知る。

## V. 最小衝擊火花閃絡電壓特性

### 1. 實驗の方法

供試碍子を第 II 節に示す如く配置して第 III 節に

供 試 碍 子	實驗 番 號	注水 乾燥 の 區別	火花閃絡 波高値 (kV)	空氣相對 密度	絕對濕度 (gr/m <sup>3</sup> )	空氣相對密度に對して のみ更正せる波高値 (kV)	空氣相對密度並びに濕 度に對して更正せる 波高値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡電壓波高値の比* (%)
B-1	D 1	乾燥	127.8	0.974	15.2	131.2	127.4	} 82
	E 1	注水	102.1	0.98	—	104.1	—	
B-160	D 2	乾燥	112.6	0.98	19	114.8	108.4	} 87
	E 2	注水	93	0.983	—	94.7	—	
B-161	D 3	乾燥	126	0.972	16.7	130	125	} 86
	E 3	注水	103	0.985	—	108	—	
B-230	D 4	乾燥	109	0.979	20	112	104	} 92
	E 4	注水	93	0.979	—	95	—	
A-25	D 5	乾燥	139	0.978	16.7	143	137	} 79
	E 5	注水	106	0.984	—	108	—	
AC-51	D 6	乾燥	141	0.968	17.7	145	139	} 92
	E 6	注水	124	0.958	—	128	—	
AC-54	D 7	乾燥	178	0.9715	15.5	183	178	} 91
	E 7	注水	157	0.969	—	162	—	
AC-57	D 8	乾燥	239	0.983	15.0	245	238	} 90
	E 8	注水	218	1.0195	—	214	—	
AC-59	D 9	乾燥	269	1.0185	9.7	264	267	} 91
	E 9	注水	248	1.017	—	244	—	
AC-61	D 10	乾燥	299	0.974	14.8	307	299	} 96
	E 10	注水	277	0.964	—	287	—	
AC-63	D 11	乾燥	347	0.984	17.1	353	339	} 85
	E 11	注水	281	0.979	—	287	—	
AC-64	D 12	乾燥	353	0.97	17.8	364	347	} 93
	E 12	注水	327	0.964	—	340	—	

\*  $\left( \frac{\text{空氣相對密度に對してのみ更正せる注水閃絡電壓波高値}}{\text{空氣相對密度並びに濕度に對して更正せる乾燥閃絡電壓波高値}} \right)$

第 5 表 衝擊最小火花閃絡電壓 (極性: 負)

示す如き衝撃波を印加し、放電率 50% の最小火花閃絡電壓を求めた。それには供試碍子を閃絡せしむるに足るが如き波高の衝撃電壓を印加し、その場合の第 1 段蓄電器の充電電圧を室内に置きたる静電圧計にて読む。一定電圧を少くも 5 回づゝ供試碍子に加へて、その放電閃絡回数を求め、これを種々の充電電圧を以て行ひ、充電電圧と放電率の關係曲線を求め、これより供試碍子の 50% 放電率に相當する蓄電器充電電圧を求めた。次に供試碍子を外して球間隙を挿入し、上に求めたる 50% 放電率に相當する一定の蓄電器充電電圧を絶えず印加しつゝ球間隙の放電率と球間隙長との關係曲線を求め、これより 50% 放電率に相當する球間隙長を求む。

A.I.E.E. 球間隙校正曲線よりこの球間隙長に相當する放電電圧を知り、これに溫度、氣壓の補正を行ふ。これ即ち供試間隙の放電電圧なるを以て、更に標準狀態即ち溫度 25°C、氣壓 760 mm Hg の場合に更正し、更に濕度更正を第 III 節に示す方法を以て行ふ。

## 2. 實驗結果

正波の場合を第 4 表に、負波の場合を第 5 表に示す。

## 3. 論 議

### (a) 極性に對する特性

以上實驗結果を見るに最小火花閃絡電壓は、同一碍子に就いては、注水、乾燥何れの狀態に於ても、負衝撃波の方が正波よりも高い特性がある。

### (b) 商用周波電壓試験との比較

商用周波閃絡波高電壓値は、衝撃最小火花閃絡電壓値より低い。これは第 3 表と對照して判る。

### (c) 注水狀態に於ける特性

最小火花閃絡電壓値が乾燥狀態と注水狀態とに於て異なる程度は正波の場合が最も少い。即ち正波は注水によりてその閃絡電壓値に殆ど影響を及さないが、負波に於てはその影響が多少あらはれ、注水により閃絡電壓の低下を見、更に商用周波に於て影響一層大となり閃絡電壓値の著しい低下を見る。

正波の場合には注水により寧ろ閃絡電壓の上昇せる場合も見られる。これらの現象は商用周波印加の場合には先行するストリーマーが充分發達するに對し、衝撃波印加の場合には正負何れもストリーマーの發達充分でないためにストリーマーの發達を助成すべき注水影響は衝撃特性の方に餘り影響を及さず商用周波に於て顯著となるためと考へらる。

尙注水試験に於ては注水が 45° の角度から注がれるのであるから、碍子の各磁器部の表面中注水を蒙ら

ない乾燥部分と注水されて濡れてゐる部分とに分けられる。

若し注水時の閃絡電壓が乾燥時のそれと異なる原因の大部分がこの磁器部表面の濡れたることに在るならば注水中暫時斷水して乾燥せぬ間に閃絡を起させるもその電壓値は注水時と大差がない譯である。それでかゝる實驗を衝撃正負兩波に就き行つた實驗結果を第 6 表に示す。何れも濕度更正は行はなかつた。第 6 表の結

供 試 碍 子	注水狀態	正 波		負 波	
		實驗 番號	閃絡波高值 (kV)	實驗 番號	閃絡波高值 (kV)
AC-57	乾 燥	A 8	162	D 8	238
	注 水	B 8	167	E 8	214
	注水後斷水	C 8	168	F 8	222
AC-59	乾 燥	A 9	191	D 9	267
	注 水	B 9	186	E 9	244
	注水後斷水	C 9	188	F 9	262

第 6 表 注水後斷水せる場合の碍子  
最小火花閃絡電壓

果を見るに何れも斷水により大體電壓の上昇を見即ち斷水により寧ろ乾燥狀態に近づくものゝ如し。

かゝる注水による異常特性を更に考へるに、これはビン碍子の如き複雑なる構造を有する誘電體間の非對稱電極間放電と考へられるから放電に際しての空間電荷の配置は極めて錯綜してゐる。しかし極めて定性的に考へればかゝる碍子の注水異常特性は最も極端なる電極配置即ち球間隙の特性と針端對平板電極配置に於ける特性との中間程度の特性を示すに非ずやと思惟さる。これを明らかにするため上述兩電極配置に於て乾燥、注水の二つの場合につきその 50% 閃絡火花電壓を求めて比較した。結果を第 7 表に示す。この結果は電極間隙距離の二三の場合に就いて示したに過ぎずこれを以て全般を論ずるは多少穩當を缺くも、單に實驗結果に表はれたる點より判斷すれば、球間隙に於てはその衝撃閃絡電壓値が正波の場合には注水時より乾燥時の方が高く、負波に於ては乾燥時注水時に大なる變化がない。この事實はビン碍子の場合と全く反對である。又針端對平板電極に於ては正波の場合には乾燥時より注水時の方が高く負波に於ては乾燥時注水時に大なる變化なきことを知る。

これらの結果より正波に於てはビン碍子はその衝撃

供試物	供試物の 間隙距離 (cm)	注水乾燥 の 区 別	正 波			負 波		
			實驗番號	閃絡波高値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡波高値の比(%)	實驗番號	閃絡波高値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡波高値の比(%)
球 間 隙	4	乾 燥	A 15	107.5	}	D 15	106	}
		注 水	B 15	103		E 15	108.8	
	6	乾 燥	A 16	153.5	}	D 16	143	}
		注 水	B 16	128		E 16	141.3	
針 端 對 平面電極	10	乾 燥	A 17	75.4	}	D 17	150.3	}
		注 水	B 17	78.4		E 17	156.6	
	15	乾 燥	A 18	95.8	}	D 18	228.5	}
		注 水	B 18	101.2		E 18	231.4	
	20	乾 燥	A 19	129	}	D 19	286.4	}
		注 水	B 19	136		E 19	283	
ベンドマン 避雷器	90	乾 燥	A 20	86.3	}	D 20	97.6	}
		注 水	B 20	80.9		E 20	100.2	

第 7 表 球間隙、針端對平面電極及びベンドマン避雷器用間隙、衝撃最小火花閃絡電壓  
(球 直 徑 125 mm)

閃絡電壓値が球間隙よりも寧ろ針端對平板電極に近いことが分り、負波に於てはピン端子は球間隙並びに針端對平板電極の何れよりも異つて居ることを知る。

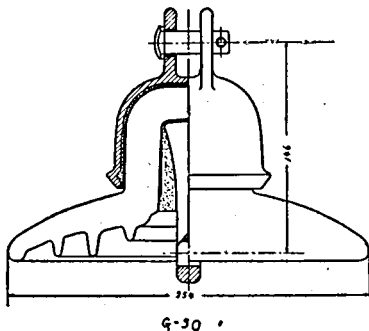
尙比較のため先端に小突起のあるベンドマン避雷器用間隙に就いて同様な實驗を行ひ第7表に示す結果を得たがこれより見ると尖端に小突起あるベンドマン避雷器用間隙も注水に對しては全く球間隙と同様の火花閃絡波高値特性を有しピン端子とは逆であることを知る。

次に懸垂端子の特性は如何か、第7圖、第8圖に示

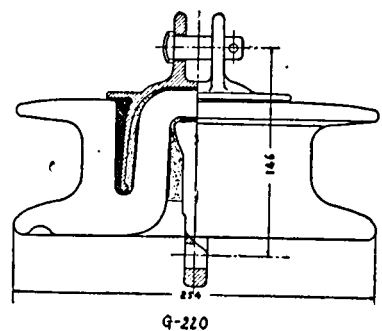
す如き2種の懸垂端子に對してその5個連結時の最小火花閃絡電壓を求めて第8表の結果を得た。これより注水に依る閃絡電壓變動の特性は、ピン端子よりも寧ろ球間隙に近く、正波に於ては乾燥時より注水時が低く、負波に於ては乾燥時と注水時に大なる變化がないことを知る。

## VI. V-T 特 性

供試端子に就き、その V-T 特性、即ち印加電壓波高値と電壓印加後破壊に到る迄の時間との關係を測定した。



第 7 圖 標準懸垂端子



第 8 圖 鼓狀懸垂端子



供試 碍子	注水乾燥 の區別	正 波			負 波		
		實驗番號	閃絡電壓値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡波高値の比(%)	實驗番號	閃絡電壓値 (kV)	乾燥時と注水時との 閃絡波高値の比(%)
G-50	乾 燥	A 14	458.3	} 97	D 14	453.9	} 101
	注 水	B 14	446		E 14	459.1	
G-220	乾 燥	A 13	514.6	} 94	D 13	559.1	} 96
	注 水	B 13	484		E 13	527.5	

第 8 表 懸垂碍子の衝撃最小火花閃絡電壓

## 1. 測定方法

供試碍子は前記 AC-57 にして前記衝撃波をその波高を變じ注水、乾燥、正波、負波のそれぞれの組合はせの場合に於て印加し、放電々壓波形を陰極線オシログラフを以て撮影しこれより破壊に到るまでの時間を求め火花閃絡の遅れを測定せり。

電壓値は靜電々壓計と球間隙に依り、供試碍子印加電壓を一々更正し更に空氣相對密度並びに湿度に對する更正を行ふた。茲に湿度に對する電壓更正に關しては第 6 圖に示す如く特に波頭試験又は V-T 試験に於ては閃絡までの時間に依つて手加減する必要があるが、その特性に關しては未だ明確を缺く處が多いのでこゝでは大體の傾向を知る目的から閃絡に到るまでの時間の影響は考慮に入れなかつた。

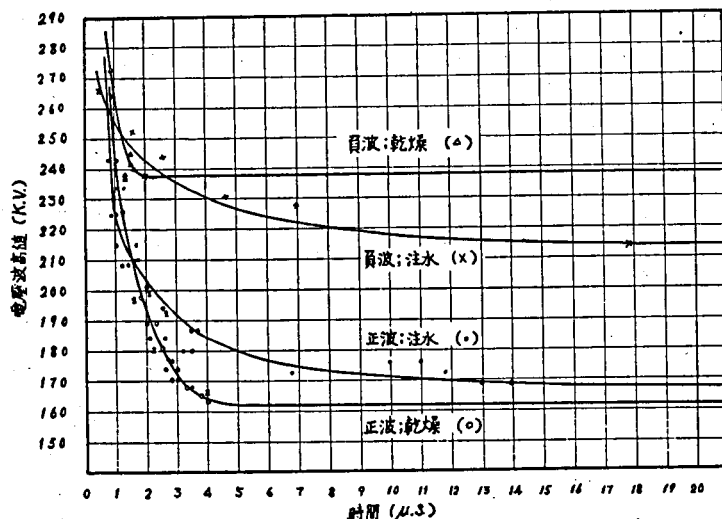
## 2. 實驗結果

第 9 圖に實驗結果を示す。

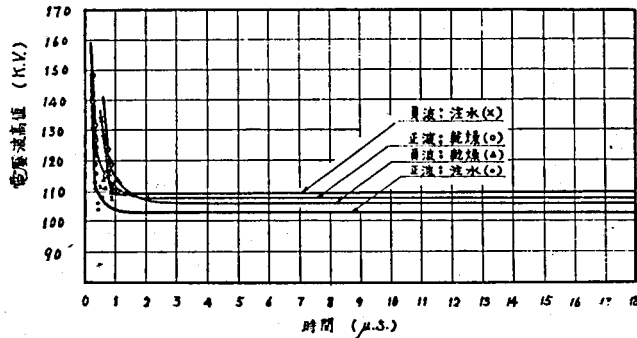
## 3. 論 議

第 9 圖より知らるゝことは、先づ、注水状態に於ては正波負波何れの場合に於ても共に火花の遅れ大となることである。これは先に求めたベンドマン避雷<sup>(7)</sup>器に於ける注水に際して火花の遅れ小となると全く逆の現象である。

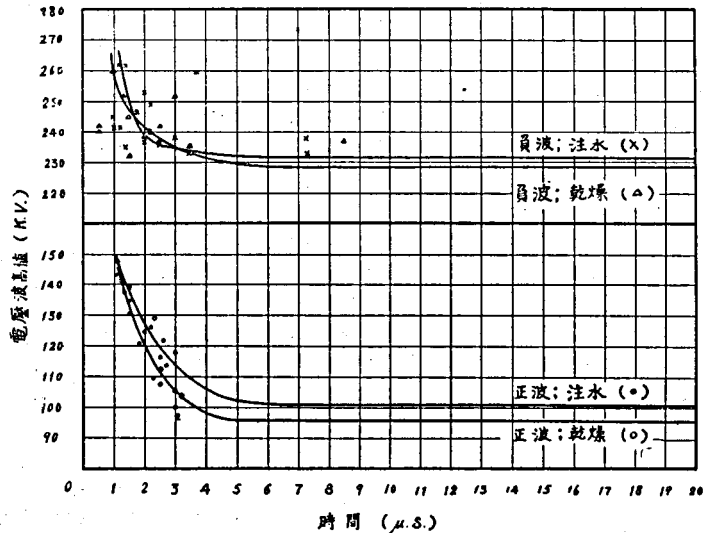
次に閃絡迄の時間の同じ値に對しては正波では注水時閃絡電壓は乾燥時閃絡電壓よりも高くなり、負波では注水時は乾燥時より低くなつてゐるが、閃絡時間の短き範圍に於ては逆の結果の表はれることを知る。次にピン碍子の最小火花閃絡電壓が注水時に於ける球間隙その他の電極配置の場合の放電特性と相當異つた姿態を表はすことを前節に論じたが、V-T 曲線に於ても最小火花閃絡電壓に於て見らるゝ如き特异性あるものと考へ、球間隙並びに針端對平板電極配置に於ける V-T 曲線を注水、乾燥の各の場合に就いて求



第 9 圖 V-T 特性 (ピン碍子 AC-57)



第 10 圖 V-T 特性 (125 mm 直徑, 球間隙長 4 cm)



第 11 圖 V-T 特性 (針端對平板電極, 間隙距離 15 cm)

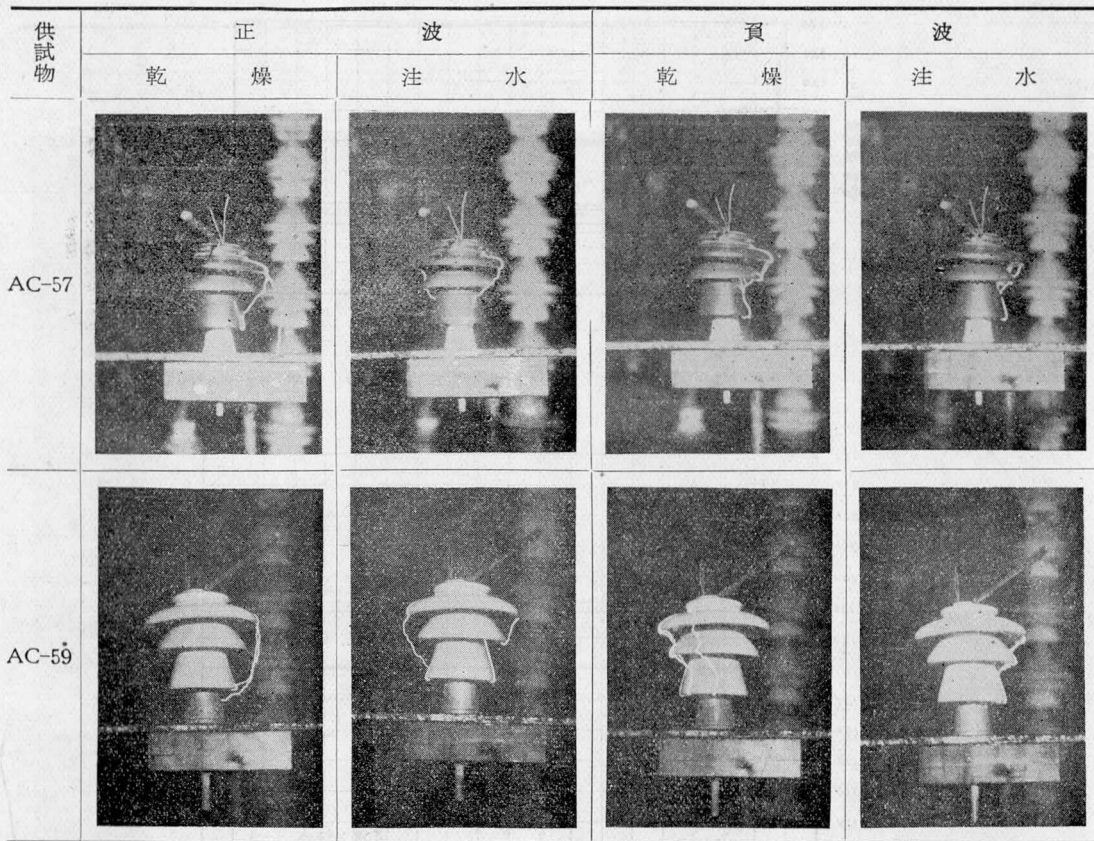
めた。結果をそれぞれ第10圖, 第11圖に示す。球間隙に於ては注水に依り火花の遅れ小となり, ピン碍子とは異りたる性質を表はすも, 針端對平板電極では, 注水に依り火花の遅れ大となることピン碍子と同様である。これら V-T 曲線に於て火花の遅れが注水に依り大となるか又は小となるかは, 注水に依り最小火花閃絡電圧が大となるか小となるかの事実と一脈の関係あり, 即ち實驗結果より判定するに, 正波最小火花閃絡電圧が注水に依り低下するベンドマン避雷器用間隙又は球間隙の如きものは, V-T 曲線で見ると注水に依る火花の遅れが小となつて表はれることを知る。

## VII. 火花閃絡の状態

ピン碍子に衝撃波を印加して, これを閃絡せしむる

時の閃絡放電路の状態は, 衝撃波の極性及び乾燥又は注水の状態に依り多少異なる。第12圖に AC-57, AC-59 の2種の碍子に就いて實驗せる場合, 閃絡状態を示す。これを見るに, 乾燥時に於ては, 正波閃絡は上部綁縛線から下部支持臺又はピンに向つて直接空間閃絡を行ひ易いが, 負波閃絡は沿面閃絡に近い状態を呈す。又注水時に於ては何れも沿面閃絡の状態を示す。

懸垂碍子5箇連結の閃絡状態を示したのが第13圖で, この場合には標準型懸垂碍子にては正波, 負波, 注水時, 乾燥時何れの場合に於ても齊しく沿面放電的な状態を示し, 鼓型懸垂碍子にては乾燥時並びに注水正波印加時には空間放電をなすも負波注水時には沿面放電をすることが窺はれ, 碍子の種類により閃絡状態の



第 12 圖 ピン碍子火花閃絡特性

異なることが知られる。

尙懸垂碍子に關する V-T 曲線その他の詳細は近く報告する豫定である。

### VIII. 結 言

以上を要約するに

1. 閃絡電壓の湿度更正曲線としては E.E.I.-N.E.M.A. によりて與へられたるものを基礎とし普通採用せらるゝ 11 gr/m<sup>3</sup> の湿度に對する更正曲線を與へた。
2. 商用周波火花閃絡特性に於ては、注水により著しく閃絡電壓の低下を見、50% 近くにも及ぶことを認めた。
3. 最小火花閃絡電壓値は同一碍子に就いては負衝擊波に對するものゝ方が正衝擊波に對するものより大なり。
4. 最小火花閃絡電壓値は商用周波火花閃絡波高値より大なり。

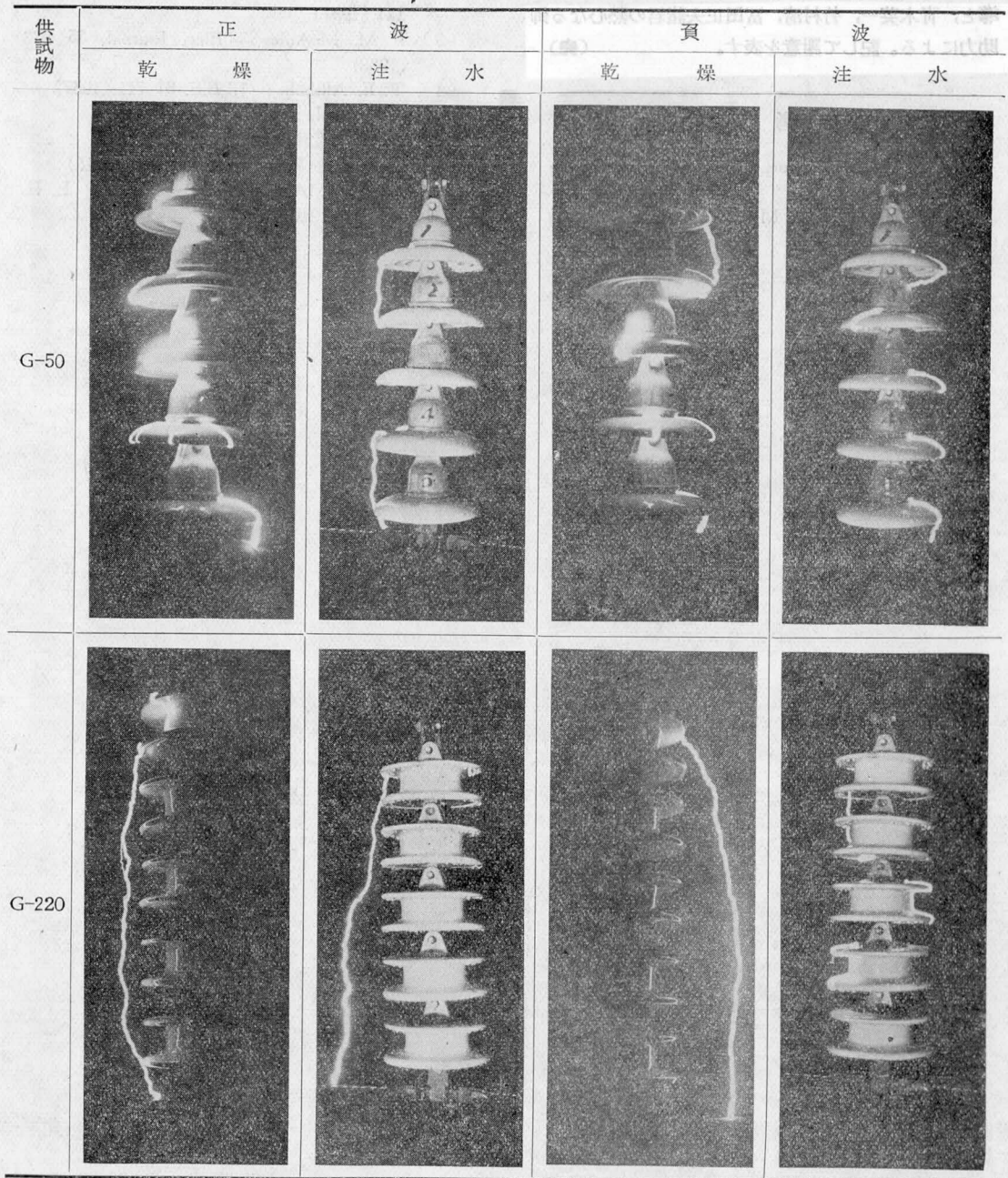
5. 商用周波閃絡並びに負波閃絡にては注水最小火花閃絡電壓値は何れも乾燥最小火花閃絡電壓値より低いが、正波に於ては一般に注水によりかゝる電壓低下はない。

6. 注水中一時斷水して直ちにその最小火花閃絡電壓を測定したるに、かゝる斷水は乾燥状態に於ける結果に近づくが如き結果を與へる。

7. 球間隙、針端對平板電極、ベンドマン避雷器用間隙、懸垂碍子の注水状態に於ける衝擊最小火花閃絡電壓特性と比較せる處、ピン碍子の特性は正波に於ては針端對平板電極に相似し、負波に於ては共通性がない。

8. V-T 曲線を求めたるに、注水に際しては火花の遅れ大となるを知つた。この性質は針端對平板電極の場合と共通であるが、球間隙の場合とは反對であることを確めた。

9. ピン碍子の火花閃絡状態を觀察したる處、乾燥



第13圖 懸垂碍子火花閃絡特性

状態正波印加の場合に限り空間閃絡を起し、注水状態又は負波印加の場合には沿面閃絡になり易きことを確めた。尙標準型懸垂碍子に於ては、正負波、注水乾燥何れの場合にも沿面放電的な閃絡を起し易く、鼓型懸

垂碍子に於ては、乾燥時並びに注水正波印加時には空間閃絡を起し、負波注水時には沿面放電をすることが窺はれた。

## 参 考 文 献

- (1) R.M. 161 Advisory Committee No. 8: June (1938)
- (2) J. C. Dowell, C. M. Foust: G. E. Rev. 40

- 141 (1937)
- (3) P. M. McAuley: Elec. Journal, 35 273 (1938)
- (4) T. E. Allibone: J.I.E.E. 81 741 (1937)
- (5) H. L. Cole: E. E. 58 27 (1939)
- (6) 上西: 電評 27 407 (昭 14)
- (7) 上西・森島・奥田: 電評 28 11 (昭 15)
- (8) EEI-NEMA Subcommittee Report: E. E. 59 598 (1940).

## 雷放電に伴ふ衝撃性地上電界強度の測定

### 内 容 梗 概

雷放電に伴ふ衝撃性地上電界強度の測定法は種々あり、茲には一般に用ひらるゝ空中線使用の場合に、容量分壓方式回路に就て、特に原波と測定波の關係を求め、又實測オシログラムより容易に原波を算出し得る圖式方法を提案したものであつて、次の内容を持つ。

第 I 節は緒言、

第 II 節に於て、雷放電に伴ふ衝撃性地上電界強度測定法の理論として、原電壓波と分壓電壓との一般關係式を求め、

第 III 節に採用せられたる分壓器の構成に就て述べ、

第 IV 節に於てこの分壓器に就て電界強度値と測定結果として得べき分壓電壓値との關係を數式を以て明かにせり。

第 V 節に於て測定せられたる分壓電壓波形オシログラムより、逆に實際の地上電界強度算出の圖式計算法を提示せり。

第 VI 節は結言なり。

### I. 緒 言

雷放電に伴ふ地上附近の電界強度、並にその時間的變動如何を知る事は、雷放電自體の機構を究明する爲に必要なもののみならず、工學的に、例へば送電線、架空地線等に於ける雷放電に依る誘導電壓の姿態を明かにし得る事となるを以て、その意義極めて重大である。

かゝる電界強度の測定は Watson Watt, H. Norinder<sup>(1)</sup>等<sup>(2)</sup>に依て廣く行はれてをり、最近<sup>(1)</sup>は日本學術振興會雷災防止委員會に於てもその各分科會に於て觀測が行はれてゐるが、これが測定方法は何れも規を一にして、一つの空中線を使用し、これが雷放電により誘發せらるゝ電壓波形を、オシログラフを以て觀測するにある。然も使用オシログラフはその感度の上に制限があるから、使用空中線には一つ<sup>(1)</sup>の分壓器を挿入、その分壓電壓によりてオシログラフを動作せしめねばならぬ譯である。

筆者はかゝる空中線と分壓器組合せ回路の電氣的特性を調べ、雷放電に伴ふ地上附近の衝撃性電界強度の値と、測定結果として得べき分壓電壓との關係を明かにし、更に測定せられたる分壓電壓オシログラムより、逆に實際の地上附近の電界強度、又は眞の空中線誘導電壓を算出する方法に對して一つの圖式計算法を提案

した。茲にこれを紹介致したい。

### II. 分壓電壓の理論

雷放電による地上電界強度  $E$  の變化の状態を求めんとす。求めんとする點を通る電界の等電位面に沿ふて高さ  $h$  の絶縁空中線を張つたとする時は、その空中線の電位はその點の電位  $V$  を示し、

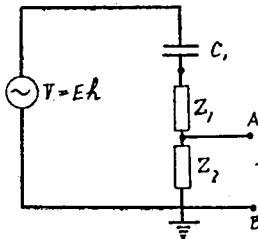
$$V = Eh \quad (1)$$

従つて空中線の電位  $V$  を知れば、求むる電界強度  $E$  を知り得。

併しながら、空中線電位  $V$  を知るには、一つの測定器をこれに結ばねばならない。この測定器として分壓器とオシログラフとを用ふるものとし、その分壓器の一端は空中線に、他端は大地に結ばれてゐるものとする。又分壓器のイムビダンスを  $(Z_1 + Z_2)$  とする。然る時は分壓器  $(Z_1 + Z_2)$  を結合せしむる事により空中線は接地せられたるものとなり、(1)式の關係は満足せられない。従つて  $V$  又は  $E$  を知る事が出来ない。かゝる分壓器を結合したる空中線に關して  $V$  又は  $E$  を知るには如何にするか。

空中線は長さ極めて短かく、電界強度の値は空中線の上の何れの點に於ても等しく、その時間的變化の割

合も空中線の長さに比して極めて大きなものであるとの假定の下に、空中線の対地容量を  $C_1$  とする時は、かかる空中線回路の等価回路は第1圖に示す如くなる。故に  $AB$  を分壓器の出力側端子とし、その電圧



第1圖 等価回路

を  $v$  とし、 $v$  を入力インピーダンス無限大のオシログラフの如き電圧測定器を以て測定するものとし、 $t=0$  において突然  $V$  が印加せられたるものと考へる。

今  $V$  が矩形波状単位電圧として與へられ、その場合の分壓電圧値  $v$  の値を  $A(t)$  とする時は、

$$v = f(p) \cdot V \cdot 1 \quad (2)$$

$$\text{であつて、} A(t) = f(p) \cdot 1 \quad (3)$$

$$\text{但し、} f(p) = \frac{Z_2}{\frac{1}{pC_1} + Z_1 + Z_2} \quad (4)$$

今この  $A(t)$  を分壓特性と名付くる事とし、この式から、 $V$  が任意波形  $V(t)$  の場合に就てその分壓波電圧値  $v(t)$  の値は次の Duhamel の積分に依り求め得。

$$v(t) = V(t) A(0) + \int_0^t V(t-\tau) A'(\tau) d\tau \quad (5)$$

$$\text{但し } A'(\tau) = \left( \frac{dA(t)}{dt} \right)_{t \rightarrow \tau}$$

$$\text{又は、} v(t) = V(0) A(t) + \int_0^t V'(t-\tau) A(\tau) d\tau \quad (6)$$

$$\text{但し } V'(t-\tau) = \left( \frac{dV}{dt} \right)_{t \rightarrow (t-\tau)}$$

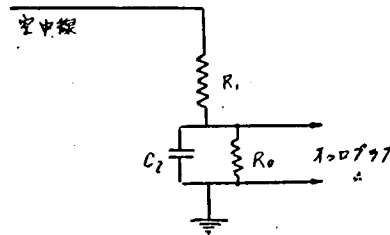
即ち (5), (6) は空中線に分壓器を結合せる場合の分壓電圧の一般式なり。

### III. 分壓器の構成

$Z_1$ ,  $Z_2$  に對して如何なるものを用ふるか、それは被測定電圧の波形、繼續時間、空中線の性質、オシログ

ラフの感度等に依り適宜選定する必要がある。

實測に使用の空中線に於ては、その上の波動傳播に時間を要し、その爲に振動を生ず。これを抑へる爲  $Z_1$  には制動抵抗を挿入するが望ましく、又多重雷撃の波姿重疊を避ける必要がある爲、第2圖のやうな蓄電器型分壓回路を採用する事とする。



第2圖 實測回路

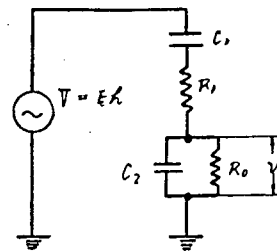
### IV. 蓄電器型分壓器に對する考案

第2圖に示す蓄電器型分壓器に於ては、

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_0} + pC_2}$$

となり、その等価回路は第3圖の如くなる。この場合



第3圖 實測空中線等価回路

オシログラフ端子電圧  $v$  は次の如く求め得る。

$$\begin{aligned} v &= \frac{\frac{R_0}{1 + pC_2 R_0}}{R_1 + \frac{1}{pC_1} + \frac{R_0}{1 + pC_2 R_0}} V \\ &= \frac{1}{R_1 C_2} \\ &\quad \times \frac{p}{\left[ p^2 + p \left( \frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2} + \frac{1}{R_0 C_2} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_0} \right]} V \\ &= f(p) \cdot V \end{aligned} \quad (7)$$



但し

$$f(p) = \frac{1}{R_1 C_2} \times \frac{p}{\left[ p^2 + p \left( \frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2} + \frac{1}{R_0 C_2} \right) + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_0} \right]} \quad (8)$$

故に分壓特性式  $A(t)$  の値は、

$$A(t) = f(p) \cdot 1 = \frac{1}{R_1 C_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{m^2 - 4n}} \times \left\{ \varepsilon^{-\left(\frac{m}{2} - \sqrt{\frac{m^2}{4} - n}\right)t} - \varepsilon^{-\left(\frac{m}{2} + \sqrt{\frac{m^2}{4} - n}\right)t} \right\} \quad (9)$$

$$\text{茲に} \quad \left. \begin{aligned} m &= \frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2} + \frac{1}{R_0 C_2} \\ n &= \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_0} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$$\text{然るに} \quad \sqrt{\frac{m^2}{4} - n} \cong \frac{m}{2} - \frac{n}{m}$$

と書き得るから (9) 式は、

$$A(t) = \frac{1}{R_1 C_2} \cdot \frac{1}{\left(m - \frac{2n}{m}\right)} \left\{ \varepsilon^{-\frac{n}{m}t} - \varepsilon^{-\left(m - \frac{n}{m}\right)t} \right\} \quad (11)$$

又普通の場合、

$$C_1 < C_2$$

であるから、

$$K_1 \cong \frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2} \cong \frac{1}{R_1 C_1}$$

$$K_2 \cong \frac{1}{R_1 (C_1 + C_2)} \cong \frac{1}{R_0 C_2}$$

と置く時は、

$$m = K_1 + K_2$$

$$n = K_1 K_2$$

と書く事が出来るから

$$A(t) \cong \frac{1}{R_1 C_2 (K_1 - K_2)} \left\{ \varepsilon^{-K_2 t} - \varepsilon^{-K_1 t} \right\} \quad (12)$$

或は、

$$A(t) \cong \frac{C_1}{C_2 + C_1} \left\{ \varepsilon^{-\frac{1}{R_0 C_2} t} - \varepsilon^{-\frac{1}{R_1 C_1} t} \right\} \quad (13)$$

となり、 $A(t)$  の内容が一段と明瞭になる。

尚第2圖に示すが如き測定分壓回路に於て、その特別の場合として  $R_1 = 0$  なる時は、

$$A(t)_{(R_1=0)} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \varepsilon^{-\frac{1}{R_0 (C_1 + C_2)} t} \quad (14)$$

$R_1 = \infty$  なる時は

$$A(t)_{(R_1=\infty)} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left\{ 1 - \varepsilon^{-\frac{C_1 + C_2}{R_1 C_1 C_2} t} \right\} \quad (15)$$

$R_1 = 0, R_0 = \infty$  なる時は、

$$A(t)_{\left(\begin{smallmatrix} R_1=0 \\ R_0=\infty \end{smallmatrix}\right)} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (16)$$

を得る。

以上の諸式に於ては  $V$  の値が矩形波単位電圧の値を與へるが、この分壓特性式から  $V$  が任意波形の場合の分壓電壓値  $v(t)$  は (5), (6) 式により求め得る。

今茲には  $V(t)$  が代表的衝撃波形として次式を以て與へられたとする。

$$V(t) = V_0 (\varepsilon^{-bt} - \varepsilon^{-at}) \quad (17)$$

然る時は (5) 式より、

$$v(t) = \int_0^t V_0 (\varepsilon^{-b(t-\tau)} - \varepsilon^{-a(t-\tau)}) A'(\tau) d\tau \quad (18)$$

$A'(\tau)$  の値は

$$A'(\tau) = \left( -\frac{dA(t)}{dt} \right)_{t \rightarrow \tau} = \left( d \left[ \frac{1}{R_1 C_2 (a_1 - a_2)} \{ \varepsilon^{-a_2 t} - \varepsilon^{-a_1 t} \} \right] \right)_{t \rightarrow \tau} \quad (19)$$

$$\text{但し、} \quad \left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{m}{2} + \sqrt{\frac{m^2}{4} - n} \\ a_2 &= \frac{m}{2} - \sqrt{\frac{m^2}{4} - n} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

$$\therefore A'(\tau) = \frac{1}{R_1 C_2 (a_1 - a_2)} \{ a_1 \varepsilon^{-a_1 \tau} - a_2 \varepsilon^{-a_2 \tau} \} \quad (21)$$

$$\therefore v(t) = \frac{V_0}{R_1 C_2 (a_1 - a_2)} \int_0^t \{ \varepsilon^{-b(t-\tau)} - \varepsilon^{-a(t-\tau)} \} \times \{ a_1 \varepsilon^{-a_1 \tau} - a_2 \varepsilon^{-a_2 \tau} \} d\tau \quad (22)$$

$$\therefore v(t) = \frac{V_0}{R_1 C_2 (a_1 - a_2)} \left\{ \frac{b(a_2 - a_1)}{(b - a_1)(b - a_2)} \varepsilon^{-bt} - \frac{a(a_2 - a_1)}{(a - a_1)(a - a_2)} \varepsilon^{-at} + \frac{a_1(a - b)}{(b - a_1)(a - a_1)} \varepsilon^{-a_1 t} - \frac{a_2(a - b)}{(b - a_2)(a - a_2)} \varepsilon^{-a_2 t} \right\} \quad (23)$$

(23) 式は  $V$  が (17) の形で表はされたる時の分壓電壓値となる。

## V. 分壓電壓波形 (測定オシログラム) より誘導原波形を推定する方法

### 1. 序 言

上述の如く分壓端子電壓  $v(t)$  は、原波形が矩形状電壓なる場合に (2) 式に依て與へられるし、又原波形



が簡単な数式に依て表現せられ得る場合にも同様計算により精密にその値を知り得る。又原波形が簡単な数式を以て表現され得ない場合においても圖式計算<sup>(3)</sup>法の工夫を廻らす事により可なり近似的にこれを求める事が出来る。そこで逆に分壓端子電壓波形より、誘導原波形を推定せんとする場合には、豫め數種の被測定原電壓波形を假想して、その各の場合に就て、或は計算により、或は圖式解法により、分壓端子電壓 $v$ の波形を算出し置けば、これと分壓端子電壓波形の測定オシログラムと比較検討する事により原電壓波形の大體を窺知する事が出来る。

併しながら若し分壓器特性が精確に判明してをれば、與へられたる分壓端子電壓波形オシログラムより、その波形の數値計算を行ふ事により原電壓波形を直接推定する事が出来る。即ちこの場合は前述の逆演算であり、又オシログラム時間原點の推定困難といふ理由から、その演算は可なり面倒なものとなるけれども、實際上の要求としては原電壓波形を假想して測定變歪を検討するよりも分壓電壓波形から原電壓を算出する方がより直接的であり、又望ましい事であると考へられるので、茲に直接原波形を求める方法を提案紹介したい。

その方法は圖式的に分壓端子電壓オシログラムより原波形を求める方法で Nerken の方法の逆算とも稱すべきものであり、かかる分壓電壓オシログラムより原波形を求める事が出来る點に於て普遍的な方法としての特徴がある。

## 2. 圖式計算の原理

$V(t)$ ,  $v(t)$ ,  $A(t)$  をそれぞれ時間函數を以て表示した原波形、分壓電壓波形、分壓特性式とする時は、

$$v(t) = V(t_0) A(t) + \int_0^t V'(\tau) \cdot A(t-\tau) d\tau \quad (24)$$

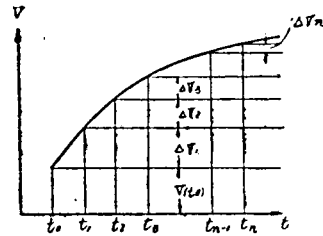
$$\text{但し } V'(\tau) = \left( \frac{dV}{d\tau} \right)_{\tau=\tau}$$

これを書換へて、

$$v(t) = A(t) V(t_0) + \int_0^t A(t-\tau) dV(\tau) \quad (25)$$

$$\text{但し } dV(\tau) = V'(\tau) d\tau$$

そこで求むる原波形  $V$  と時間  $t$  との関係が  $t \geq t_0$  に於ては、近似的に  $V$  の微小梯形分波  $\Delta V_n$  の組合せと考へ、各梯形分波に應ずる解の總和が  $v(t)$  を構成するものとして考へ得られるから、今  $t$  を微小時間の等間隔に分ち  $t_0, t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  とする時は、第4圖に



第4圖 原波形の分波解

示す處により (25) に従ひて次の結果を得る。

$$v(t_0) = A(t_0) V(t_0) \quad (25)$$

$$v(t_1) = A(t_1) V(t_0) + \frac{A(t_0) + A(t_1)}{2} \Delta V_1 \quad (26)$$

$$v(t_2) = A(t_2) V(t_0) + \frac{A(t_1) + A(t_2)}{2} \Delta V_1 + \frac{A(t_0) + A(t_1)}{2} \Delta V_2 \quad (27)$$

$$v(t_2) = A(t_2) V(t_0) + \frac{A(t_2) + A(t_3)}{2} \Delta V_1 + \frac{A(t_1) + A(t_2)}{2} \Delta V_2 + \frac{A(t_0) + A(t_1)}{2} \Delta V_3 \quad (28)$$

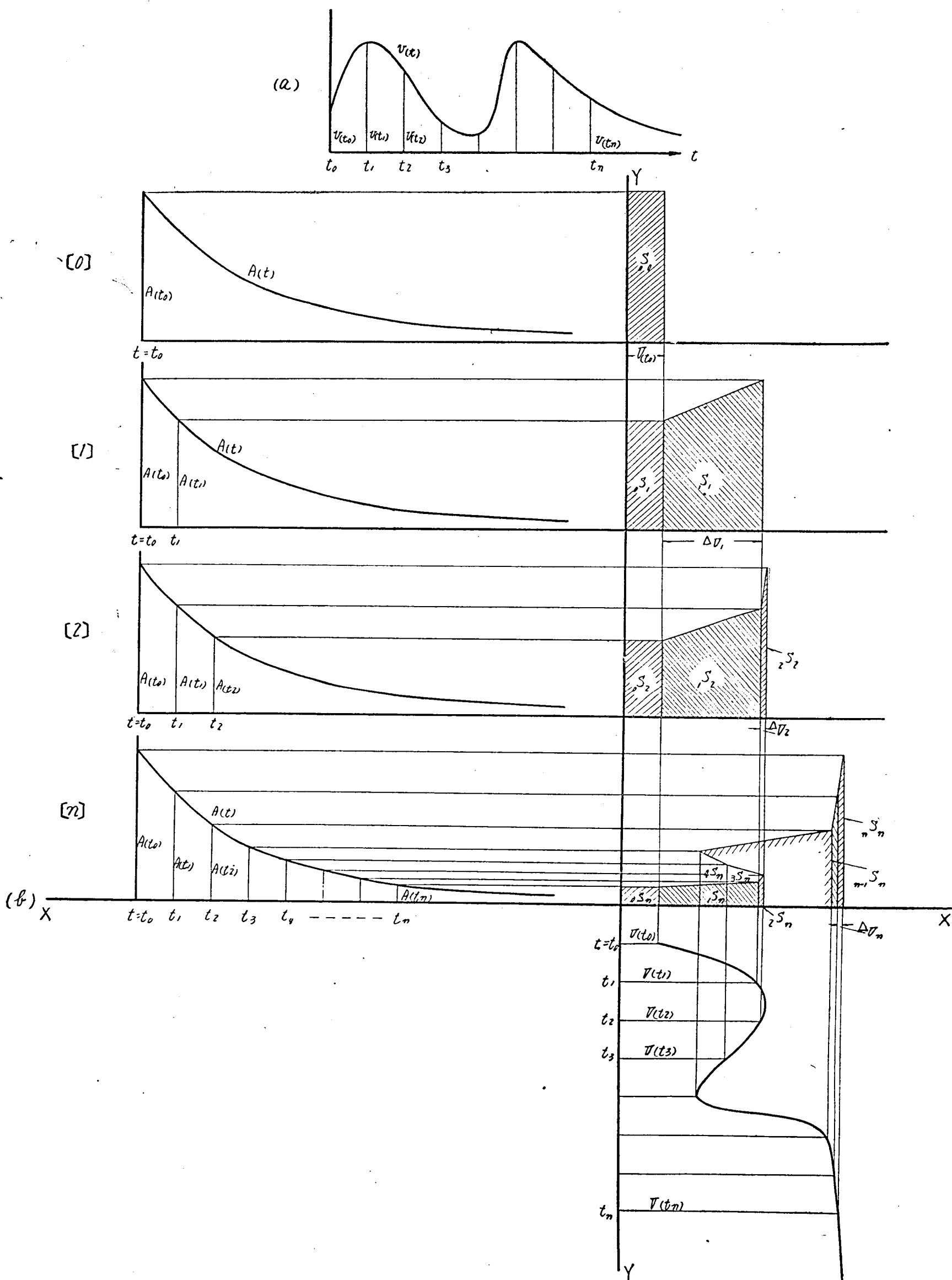
$$v(t_n) = A(t_n) V(t_0) + \frac{A(t_{n-1}) + A(t_n)}{2} \Delta V_1 + \frac{A(t_{n-2}) + A(t_{n-1})}{2} \Delta V_2 + \dots + \frac{A(t_0) + A(t_1)}{2} \Delta V_n \quad (29)$$

我々は  $v(t)$  の形を既知として  $V(t)$  の形を求めやうとするのであるが、 $A(t)$  が既知ならば (25), (26), (27), (28), (29) の方法を繰返し計算する時は  $V_0, \Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$  が逐次計算されるから、その和である  $V(t)$  は容易に求め得る。この方法は圖式計算によるが最も便である。

## 3. 圖式計算の實施

今一例として、上の圖式計算を行ふに、第5圖に於て、(a) 圖に測定分壓波  $v(t)$  を示し、(b) 圖における  $A(t)$  に分壓器特性式を表すものとする。 $A(t)$  は簡単のため  $A_0 e^{-at}$  に似たる形を有するものとして描いてある。

圖式計算を行ふに當つては (b) 圖に  $XX', YY'$  の直交坐標軸を描き、圖に示す如くその第二象限に  $A(t)$  を、第一象限に面積計算用圖を、第四象限に求め得た  $V(t)$  を書込んで行く。 $v(t)$  は (a) 圖の如く別の場所に書いて置くなり、オシログラムより寫點して知る事とする。



第 5 圖 圖式計算法

先づ最初 (b) 圖の [0] に就て  $t=t_0$  における  $A(t)$  の高さを取りこれを右方に延長して一邊が  $A(t_0)$  なる矩形面積  ${}_0S_0$  を作り、その面積を  $t=t_0$  における  $v(t)$  の高さ  $v(t_0)$  と値が等しくなるやうに選ぶ、即ち (25) より

$${}_0S_0 = v(t_0) = A(t_0) V(t_0)$$

$$\therefore V(t_0) = \frac{{}_0S_0}{A(t_0)}$$

即ち  ${}_0S_0$  矩形の他の一邊が  $V(t_0)$  即ち  $V(t)$  の  $t=t_0$  における値を與へる事となりこれを第四象限に書込む。

次に  $v(t)$ ,  $A(t)$  を微小等時間々隔  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ , ... を以て分割して行き、各の高さ  $v(t_1), v(t_2), v(t_3), \dots, v(t_n), \dots$  及び  $A(t_1), A(t_2), A(t_3), \dots, A(t_n), \dots$  を求めて置く。

次に (b) 圖の [1] に於て  $A(t_1)$  と  $V(t_0)$  とに依て作られる矩形  ${}_1S_1$  を求め、更に  $A(t_0)$  と  $\Delta V_1$  とに依て作られる梯形  ${}_1S_1$  の面積を  $v(t_1)$  と  ${}_0S_1$  との差に等しくなるやうに選ぶ。

$$\text{即ち, } A(t_1) V(t_0) = {}_0S_1$$

$$(26) \text{ より } \Delta V_1 = [v(t_1) - A(t_1) \cdot V(t_0)]$$

$$\begin{aligned} & \times \frac{2}{[A(t_0) + A(t_1)]} \\ & = [v(t_1) - {}_0S_1] \times \frac{2}{[A(t_0) + A(t_1)]} \\ & = {}_1S_1 \times \frac{2}{[A(t_0) + A(t_1)]} \end{aligned}$$

として  $\Delta V_1$  が求まる。これを第四象限に記入して  $V(t_1)$  を知る。

次に (b) 圖の [2] に於て、 $t_2$  に對應する  $A(t_2)$  と  $V(t_0)$  とに依て作られる矩形  ${}_2S_2$  を求め、更に  $A(t_1)$  と  $\Delta V_1$  とにより作られる梯形  ${}_1S_2$  を求め、更に梯形  ${}_2S_2$  をこれ等の面積の合計が  $v(t_2)$  に等しくなるやうに選ぶ。即ち、(27) より、

$$\Delta V_2 = \{v(t_2) - ({}_0S_2 + {}_1S_2)\} \times \frac{2}{A(t_0) + A(t_1)}$$

として  $\Delta V_2$  が求まり、これを第四象限に記入して  $V(t_2)$  を知る。

順次かくして  $t_n$  の後に於ては  $A(t_n)$  と  $V(t_0)$ ,  $A(t_{n-1})$  と  $V(t_1), \dots, A(t_2)$  と  $V(t_{n-1})$  の各組合せに相當する面積  ${}_0S_n, {}_1S_n, \dots, {}_{n-1}S_n$  を求め、最後の  ${}_nS_n$  の面積を  $\Delta V_n$  が (29) より、

$$\Delta V_n = \left\{ v(t_n) - \sum_{r=0}^{n-1} {}_rS_n \right\} \times \frac{2}{A(t_0) + A(t_1)}$$

なる如く選び  $V(t_n)$  を決定する。尙途中の面積計算の和はすべて代數的に取扱へばよい。かくして得た  $V(t_0), V(t_1), \dots, V(t_n)$  を結んで所要の  $V(t)$  の波形を圖式的に得らる。

この方法による時はその計算の誤差は分割時間間隔を微小に取る程小さくなる。又誤差が計算の操作の過程に累加する事なく振動的な性質を持つてゐる長所がある。併し實際問題としてオシログラム圖形の開始點が正しく現象生起の時刻と一致せぬ時は大きな誤差を生ずる事故注意を要する。

## VI. 結 言

以上雷放電に伴ふ地上附近の電界強度並にその時間變化の如何を知るための空中線容量分壓器方式測定回路の一般特性に就て解析した。尙分壓波形 (測定オシログラム) より空中線誘導電壓原波形を求める方法として一つの圖式計算法を提案した。本法は一般にインデシアルアドミッタンスと電流波形より原電壓波形を求める事が出来る點に於て各種の回路の解析に役立つ普遍的なるものとして推薦したい。

## 参 考 文 献

- (1) W. Watt: Proc. Roy. Soc. A Vol. 103 (1923)
- (2) Norinder: J. F. I. (1934)
- (3) A. L. Nerken: E. E. 56 768 (1937)

(136)

## 結 論

以上針端コロナ放電に関する実験的研究、衝撃電圧に関する実験的研究及び雪放電に伴ふ衝撃性地上電界強度の測定に就て、高電圧工學上の一連の研究成果を纏めて本文を終ふが、今茲に前者の究明した結果に就て其の要點を要約すれば次の通りである。

1. 針端コロナ放電に於ける放電開始諸電圧、電圧電流特性を明かし、之を実験式と與へ、且その不整性の程度を明かし、更に紫外線照射に依る影響に就て実験し、一般に想像される程其程度が大くない事を明かした。

2. 針端コロナ放電に伴ふ針端電極の消耗は暈光コロナに於ては針端正極なす時の、負極なす時よりも大となり、正束状コロナの場合には暈光コロナの場合より消耗が少い事を確めた。

3. 針端電極は、火花電壓計とて充分信頼に得る確度を持つ事を明かした。

4. 針端角度を *Parameter* とする針端コロナ放電特性を調べ、次の諸点を明かした。

(1) コロナ開始電圧は針端角の増大と共に増加する。

(2) 火花電圧は針端負の場合には針端角の影響は無いが、針端正の場合には、針端角の増すに従つて低下する。

(3) 臨界間隙は針端角大なる程その値が小となる。

(4) 針端負の場合には、放電形式は針端角に依り變らなうが、針端正の場合には、間隙狭く、針端角小なる場合程、コロナ開始より暈光放電に、次いで火花放電に移行すも、間隙距離廣く、針端角大なるに従つて、束状コロナの發生、又は暗流より直ちに火花に移行する事。

(5) 針端角が増す程、コロナ電流は不安定となる事。

5. フロート風と石働カとした指示電圧計を試作し、之が実用に供し得る事を明かにした。

6. 京都大學工學研究所設置の衝撃電壓發生器に就き、其の充電方式、充電速度、絶縁、充電抵抗、固有キャパシタンス、固有インダクタンス、發生波形等に就き詳細な特性を調べた。

7. 本衝撃電壓發生器の波頭の高周波重畳に関し其の特性を調べ、振動除去方式を明かにした。

8. 本衝撃電壓發生器に対し、直列充電方式を採用した場合の等率充電の條件を求めた。

9. 發生衝撃電壓が起動用衝撃發生回路に浸入しない爲の反撃防止回路を考案した。

10. 高壓陰極線のグラフと衝撃電壓測定に用ひる場合に、其の排氣、陰極線の安定なる發生、多素子とせる場合の輝度調整、誤差、測定上の校正方法、時間標引、及び衝撃過渡電壓の測定撮影に関し採らるべき必要なる諸措置を明かにし、適當なる操作回路を示した。

11. 従來のものに比し、動作極めて安定確實、且精細な寫真撮影が可能なると同時に、衝撃遮断波を隨意の條件で出得られるグラフ管使用の過渡現象直視装置を考案した。

12. 衝撃電壓試験に於ける電壓基準となすべき有接間隙の最小火花閉絡電壓の測定結果を記入、歐米諸國の結果と比較し、其の特性を明かにした。

13. ベルマン避雷器同の火花間隙に就き

(1) 商用周波電壓特性を求め、之を衝撃電壓特性と比較検討した。

(2) 最小火花閉絡電壓に関し、正波閉絡電壓値は、負波閉絡電壓値よりも少なり、注水閉絡電壓値は乾燥閉絡電壓値より

もなる事。又衝撃閃絡電壓値は注水時と雖も商用周波乾燥閃絡電壓値よりも大なる事を知った。

- (3) 放電特性は紫外線に依る影響が大きい。
- (4) V-T特性を明かにし、注水時には正波、負波何れも火花の進みの小なる事を認めた。
- (5) 尖端小円錐体を付すれば、同じ放電電壓に対し、間隙距離大となると共に、機械的障害に対し電氣的に安全となり得るものならず、續流の遮断に便である事。又尖端小円錐体を付する時は、火花の進みを生ずる事、付せざれば進みは少い事、及び注水時と乾燥時の放電電壓の差は小なる事等を認め、尖端小円錐体の効果を明かにした。

14. 主としてピン碍子に関し次の諸点を明かにした。

- (1) 最小火花閃絡電壓は同一碍子に就ては負波に対するものの約正波に対するものよりも大である事。
- (2) 最小衝撃火花閃絡電壓値は商用周波火花閃絡電壓値より大である事。
- (3) 火花閃絡電壓値が乾燥時と注水時に於て異なる程度は、正波に於て最も少く、其の影響は殆ど見られなかつた。負波に於ては注水に依る多少の低下を見、更に商用周波下に於て大となる。
- (4) 注水に依る火花の進みは大なる事。
- (5) 一般に針端対平板の放電特性に相似して居る事。

15. 雷放電に伴ふ衝撃性地上電界強度測定のための空中線容量分壓器に就て、其の分電壓と、実電界強度との関係式を導いた。

16. 上述の場合に於て、測定せられた分電壓波形グラフから眞の地上電

界強度を算出す一つの圖式計算法を提案した。

(以 上 )



---

## 謝 辭

本研究は、著者の昭和七年京都帝國大學大學院入學以來、恩師島倉利三郎博士並に同電氣工學教室敎官各位の懇篤なる御指導に依り成つたものである。茲に之等諸先生に対し厚く御禮申上げると同時に、實驗に協力せられた各位に対し深甚の謝意を表す次第である。

---